

CENTRO AGRONOMICO TROPICAL DE INVESTIGACION Y ENSEÑANZA  
SUBDIRECCION GENERAL ADJUNTA DE ENSEÑANZA  
PROGRAMA DE POSTGRADO

DINAMICA DE LA EFICIENCIA DE USO Y BALANCE DE NUTRIMENTOS EN  
SISTEMAS AGROFORESTALES Y EN CULTIVOS CON ENMIENDAS ORGANICAS EN  
LA MONTAÑA, TURRIALBA, COSTA RICA.

Tesis sometida a la consideración del Comité Técnico Académico  
del Programa de Estudios de Posgrado en Ciencias Agrícolas y  
Recursos Naturales del Centro Agronómico Tropical de  
Investigación y Enseñanza, como requisito parcial para optar el  
grado de

*MAGISTER SCIENTIAE*

Por:

MARIA LORENA SOTO PINTO

Turrialba, Costa Rica

1992

Esta tesis ha sido aceptada, en su presente forma, por la Coordinación del Programa de Estudios de Posgrado en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales Renovables del CATIE y aprobada por el Comité Asesor del estudiante como requisito parcial para optar al grado de:

MAGISTER SCIENTIAE

COMITE ASESOR:

  
Donald L. Kass, Ph.D.

---

Profesor Consejero

Lawrence Szott, Ph.D.

Miembro del Comité

  
Pedro Ferreira

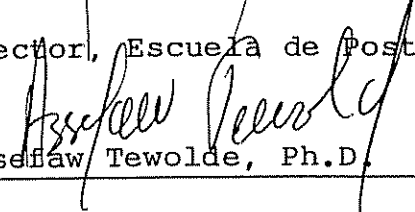
---

Miembro del Comité

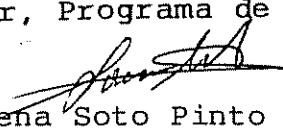
Miembro del Comité

  
Ramón Lastra Rodríguez, Ph.D.

Director, Escuela de Postgrado

  
Assefaw Tewolde, Ph.D.

Coordinador, Programa de Maestría

  
María Lorena Soto Pinto

Candidato

DEDICATORIA

*A todos los campesinos pobres de América Latina*

*A mi Madre, Guillermo y Estelí*

*A la memoria de mi padre el Ing. Juan Manuel Soto Aguilera*

## AGRADECIMIENTOS

Deseo expresar mi agradecimiento al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) y al Centro de Investigaciones Ecológicas del Sureste (CIES) de México por haberme brindado el apoyo para realizar mis estudios de maestría. Asimismo al Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) por la formación recibida en su seno y al Proyecto Arboles Fijadores de Nitrógeno en su parte CIID (Centro Internacional para la Investigación y el Desarrollo) por el apoyo para la realización del trabajo de tesis.

Asimismo quiero hacer patente mi agradecimiento al Dr. Donald ass, asesor principal de este trabajo por su valiosa contribución y sus enseñanzas. Al Dr. Lawrence Szott por la cuidadosa revisión del manuscrito, su paciencia y sus valiosas sugerencias. Al Dr. Pedro Ferreira por su apoyo en la parte estadística y manejo de datos.

A todo el personal de campo y oficina que colaboran con el proyecto AFN y al Laboratorio de Suelos. Asimismo por su invaluable asistencia a Johnny Pérez y los operadores del Centro de Cómputo.

Al personal del Programa de Postgrado, en especial al Dr. Azzefaw Tewolde y al Dr. Ramón Lastra. A todos mis profesores y compañeros y a todos quienes hicieron posible la realización de este trabajo.

## BIOGRAFIA

La autora, de nacionalidad Mexicana nació el 16 de Junio de 1958 en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.

En Noviembre de 1982 obtuvo el título de Bióloga en la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional Autónoma de México. Ha laborado como docente de la misma Universidad, participado en diversos proyectos educativos, de investigación y de servicio. Desde hace siete años presta sus servicios como investigadora del Centro de Investigaciones Ecológicas del Sureste, Chiapas, México.

Becada por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), México ingresó al Programa de Postgrado del CATIE, en Octubre de 1990, obteniendo el grado de *Magister Scientiae* el 22 de Septiembre de 1992.

## INDICE GENERAL

	Página
RESUMEN	vi
SUMMARY	vii
LISTA DE CUADROS	viii
LISTA DE FIGURAS	x
LISTA DE ANEXOS	xi
1. INTRODUCCION	1
II. REVISION DE LITERATURA	
1. Importancia de los sistemas agroforestales y la aplicación de enmiendas orgánicas.	2
2. Reciclaje de nutrimentos	
2.1 Nitrógeno	5
2.2 Fósforo	7
2.3 Potasio, Calcio y Magnesio	10
3. Eficiencia de uso de nutrimentos	12
4. Estudios anteriores en el experimento de La Montaña.	14
III. MATERIALES Y METODOS	
1. Objetivo general	16
2. Objetivos específicos	17
3. Hipótesis	17
4. Diseño experimental	18
IV. RESULTADOS Y DISCUSION	23
1. Biomasa y rendimientos totales de cultivos anuales.	23
1.1 Maíz	25
1.2 Frijol	26
1.3 Índice de cosecha de grano	27
1.4 Discusión sobre rendimientos y biomasa de cultivos anuales.	28
2. Biomasa arbórea	36
2.1 Discusión sobre biomasa arbórea	37
3. Absorción de nutrimentos	39
3.1 Absorción de Nitrógeno	39
3.2 Absorción de Fósforo	40
3.3 Absorción de Bases Intercambiables (K, Ca, Mg).	41
3.4. Discusión sobre la Absorción de nutrimentos.	46
4. Eficiencia de absorción	48
4.1 Eficiencia de absorción de Nitrógeno	48
4.2 Eficiencia de absorción de Fosforo en	

relación al suministro de Nitrógeno.	48
4.3 Eficiencia de absorción de Bases Intercambiablès.	51
4.4 Discusión sobre la eficiencia de absorción.	51
5. Eficiencia fisiológica	55
5.1 Eficiencia fisiológica del Nitrógeno	55
5.2 Eficiencia fisiológica del Fósforo	55
5.3 Eficiencia fisiológica de Bases Intercambiables.	56
5.4 Discusión sobre la eficiencia fisiológica.	56
6. Eficiencia de uso	59
6.1 Eficiencia de uso de Nitrógeno	59
6.2 Eficiencia de uso de Fósforo	61
6.3 Eficiencia de uso de Bases Intercambiables	62
6.4 Discusión sobre la eficiencia de uso	62
7. Eficiencia de uso de los fertilizantes inorgánicos (N, P, K y Mg).	68
7.1 Discusión sobre la eficiencia de uso de los fertilizantes inorgánicos.	69
8. Recirculación de nutrimentos	70
8.1 Discusión sobre recirculación de nutrimentos.	71
9. Eficiencia de recuperación por el método de la diferencia con respecto al control.	76
9.1 Discusión sobre la eficiencia por diferencia con respecto al control.	76
10. Balance de nutrimentos por tratamiento	81
10.1 Control	81
10.2 Mulch de <i>Erythrina</i>	82
10.3 Estiércol	83
10.4 Mulch de <i>Gmelina</i>	84
10.5 Mulch de <i>Gliricidia</i>	85
10.6 Callejones de <i>Erythrina</i>	86
10.7 Callejones de <i>Gliricidia</i>	87
10.8 Discusión sobre los balances	88
11. Cambios en el suelo	90
11.1 Nitrógeno	90
11.2 Fósforo	93
11.3 Potasio	93
11.4 Calcio	93
11.5 Magnesio	94
11.6 Discusión sobre cambios en el suelo	94
<b>V. DISCUSION GENERAL</b>	<b>100</b>
<b>VI. CONCLUSIONES</b>	<b>101</b>
<b>VII. RECOMENDACIONES</b>	<b>103</b>
<b>VIII. BIBLIOGRAFIA</b>	<b>104</b>
<b>IX. ANEXOS</b>	<b>120</b>

## SUMMARY

The objective of this thesis was to evaluate the effects of association of woody legume species with maize and beans, and the application of organic amendments on the nutrient balance and nutrient use efficiency on a Typic Humitropept in La Montaña Experimental Station (CATIE), Turrialba, Costa Rica.

Organic amendment treatments presented high nutrient absorption, high traslocation and use efficiency, which resulted in increased average yields of maize and beans.

The alley cropping system had a high nutrient uptake, high use efficiency for beans and the best nutrient recycling, which resulted in increased bean yields. Alley cropping systems differed from organic amendments in exhibiting lower traslocation efficiency, probably due to tree competition, mainly for light. This effect could possibly be eliminated with a better pruning management previous to grain filling in the maize.

The control treatment (bean+maize unmulched, without trees) showed nutrient deficiencies, low uptake and low use efficiency which resulted in low yields. However the lowest maize and bean yields in the experiment, surpassed the Cartago provincial production mean and the national production mean.

*Erythrina*, *Gmelina* and *Gliricidia* mulched treatments and animal manure had positive nutrient balances during the ten years of the experiment. Where no N fertilizer was added, *Erythrina* and *Gliricidia* alley cropping and the pure culture presented negative balances for N. Where N fertilizer was applied, N balance was positive, even though in control, Ca balances remained in deficit. Nevertheless, in the first 40 cm. of soil, total N is higher in *Erythrina* alley cropping than in other treatments. Soil nutrient levels did not decrease or increase significantly to any of the treatments throughout the 10 years of the experiment.

The use of inorganic N increased yields and improved use efficiency and N, P, K, Ca and Mg recycling in all treatments.



## RESUMEN

El objetivo de este trabajo es evaluar el efecto en el tiempo del asocio de especies arbóreas con maíz y frijol y la aplicación de enmiendas orgánicas sobre el balance y la eficiencia de uso de nutrimentos en La Montaña, Turrialba, Costa Rica.

Los tratamientos con enmiendas orgánicas presentaron alta absorción de nutrimentos, alta eficiencia de traslocación y alta eficiencia de uso, lo que se traduce en los mayores rendimientos de maíz y altos rendimientos de frijol.

Los cultivos en callejones tienen alta eficiencia de absorción, alta eficiencia de uso para frijol y el mejor reciclamiento de nutrimentos, lo que se concreta en los mejores rendimientos de frijol, pero difieren con las enmiendas por su baja eficiencia de traslocación, lo que se atribuye a un efecto de competencia con los árboles, que podría eliminarse con un mejor manejo de la poda.

Por su parte el cultivo puro (maíz+frijol sin enmiendas y sin árboles) tuvo deficiencias de nutrimentos, baja eficiencia de absorción y baja eficiencia de uso y como resultado más bajos rendimientos de ambos cultivos.

Aún los más bajos rendimientos del experimento tanto de maíz como de frijol, sobrepasan las medias de la Provincia de Cartago y la media Nacional.

Los tratamientos con mulch de *Erythrina*, mulch de *Gmelina*, mulch de *Gliricidia* y estiércol presentaron balances positivos para todos los nutrimentos a lo largo de diez años del experimento. Los callejones de *Erythrina* y *Gliricidia* y el control presentaron balances negativos para N cuando no se aplicó N inorgánico, cuando se aplicó este insumo el balance de N fué positivo, pero el balance de Ca del control permaneció en déficit. Sin embargo el N total del suelo en los primeros 40 cm. fué mayor en los cultivos en callejones con *Erythrina*.

Los tratamientos con mulch de *Erythrina* y estiércol observaron la mayor cantidad de K intercambiable en los primeros 40 cm. del suelo. La tendencia de todos los nutrimentos y en todos los tratamientos es a mantenerse a lo largo del tiempo.

El uso de N inorgánico como fertilizante juega un papel importante para el incremento de los rendimientos, de la eficiencia de uso y del reciclaje de N, P, K, Ca y Mg.

## LISTA DE CUADROS

CUADRO. NO.	TITULO	PAGINA
1	Estudios anteriores realizados en el experimento de La Montaña.	16
2	Biomasa total y rendimientos maiz+frijol, medias de nueve años, en siete tratamientos.	24
3	Biomasa y rendimientos de maíz, medias de nueve años.	25
4	Biomasa y rendimientos de frijol, medias de nueve años.	27
5	Modelos para la producción de biomasa arbórea en los callejones de <i>Gliricidia sepium</i> y <i>Erythrina poeppigiana</i> .	37
6	Medias de nueve años de absorción de nitrógeno.	40
7	Medias de nueve años de absorción de fósforo.	41
8	Medias de nueve años de absorción de bases intercambiables.	42
9	Indices de eficiencia de absorción de N, P, K, Ca y Mg en los siete tratamientos, promedios de dos niveles de N y nueve años.	49
10	Cociente P:N en el experimento de La Montaña.	50
11	Indices de eficiencia fisiológica de N, P, K, Ca y Mg para los siete tratamientos, promedio de dos niveles de N y nueve años.	57
12	Indices de eficiencia de uso de N, P, K, Ca y Mg para los siete tratamientos, promedio de dos niveles de N y nueve años.	64
13	Absorción de nutrimentos de los órganos reproductivos de maíz y frijol en madurez fisiológica.	65
14	Indices de eficiencia de fertilizantes químicos: N, P, K, Mg. Porcentajes promedio de dos niveles de N y nueve años.	69
15	Recirculación de nutrimentos en forma de podas y residuos agrícolas en los sistemas de producción.	71
16	Comparación de concentraciones adecuadas para el desarrollo de maíz (Sayre, 1953) y las encontradas en los sistemas de La Montaña.	75

17	Eficiencia de recuperación de nitrógeno por diferencia con el control, medias de nueve años, siete tratamientos, La Montaña, Tlba.	77
18	Eficiencia de recuperación de fósforo por diferencia con el control, medias de nueve años, siete tratamientos, La Montaña, Tlba.	78
19	Eficiencia de recuperación de bases intercambiables K+Ca+Mg por diferencia con el control, medias de nueve años, siete tratamientos.	79
20	Comparaciones por contrastes para el total de nutrientes recuperados en los sistemas productivos.	80
21	Balance de nutrientes del tratamiento control.	81
22	Balance de nutrientes del tratamiento mulch de <i>Erythrina</i> .	82
23	Balance de nutrientes del tratamiento con estiércol.	83
24	Balance de nutrientes del tratamiento mulch de <i>Gmelina</i> .	84
25	Balance de nutrientes del tratamiento mulch de <i>Gliricidia</i> .	85
26	Balance de nutrientes del tratamiento cultivo en callejones de <i>Erythrina</i> .	86
27	Balance de nutrientes del tratamiento cultivo en callejones de <i>Gliricidia</i> .	87

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA NO.	TITULO	PAGINA
1	Indice de cosecha para cada cultivo por tratamiento en La Montaña, Tlba.	29
2	Rendimiento de frijol, tratamiento por año y por precipitación.	34
3	Tendencias en el tiempo de la biomasa radicular y del consumo de N.	35
4	Comportamiento en el tiempo de la biomasa arbórea de <i>Erythrina poeppigiana</i> y <i>Erythrina sepium</i> .	38
5	Absorción de nitrógeno en los tejidos de los cultivos.	43
6	Absorción de fósforo en los tejidos de los cultivos, La Montaña, Tlba.	44
7	Absorción de bases intercambiables (K+Ca+Mg) por los cultivos.	45
8	Eficiencia de uso de Nitrógeno y Fósforo.	60
9	Eficiencia de uso de bases intercambiables.	63
10	Eficiencia de uso de nitrógeno en el tiempo.	66
11	Eficiencia de uso de fósforo y K+Ca+Mg en el tiempo.	67
12	Recirculación de nutrimentos.	72
13	Dinámica del nitrógeno en el suelo 0-40 cm.	92
14	Dinámica del fósforo en el suelo 0-40 cm.	96
15	Dinámica del potasio intercambiable en el suelo 0-40 cm.	97
16	Dinámica del calcio intercambiable en el suelo 0-40 cm.	98
17	Dinámica del magnesio intercambiable en el suelo 0-40 cm.	99

## LISTA DE ANEXOS

CUADRO NO.	TITULO	PAGINA
1	Análisis de varianza para la biomasa total, biomasa de maíz y biomasa de frijol.	120
2	Análisis de varianza para los rendimientos totales, rendimientos de maíz y de frijol.	120
3	Correlación entre recuperación de N, P, bases intercambiables, eficiencia de absorción de N y P.	121
4	Contenido de nutrimentos en el suelo, mes de noviembre. Promedio de nueve años y dos niveles de N, 0-60 cm.	122

FIGURA NO.	TITULO	PAGINA
1	Absorción de N en el tiempo, La Montaña	123
2	Eficiencia fisiológica del N en maíz	124
3	Eficiencia fisiológica del fósforo	125

## I. INTRODUCCION

Los productores de las áreas tropicales de Latinoamérica han ido intensificando sus tradicionales sistemas de producción en busca de mayores rendimientos debido a diversas problemáticas de sobrepoblación, tenencia de la tierra, cambios de tipo cultural y en los patrones del mercado y del consumo. El cambio de la agricultura migratoria a una agricultura más continua en el tiempo ha resultado en la disminución de fertilidad de los suelos, disminución de los bosques, problemas con plagas, enfermedades, malezas y erosión, lo cual ha repercutido en las condiciones de vida de la población.

Muchas de las limitantes impuestas por el medio ambiente tropical pueden ser superadas por el suplemento de fertilizantes y a través del control de plagas y enfermedades. Sin embargo estos requerimientos necesitan generalmente grandes entradas de combustibles fósiles que son caros y poco accesibles a los productores de escasos recursos.

Dada la realidad de las tasas de crecimiento y colonización humana en las tierras del trópico, existen dos opciones para los países tropicales (Ewel 1986). Una es cambiar abundantes recursos naturales por alimentos o por combustibles fósiles necesarios para superar las limitantes locales para la producción agrícola y, la otra es desarrollar ecosistemas agrícolas que sean sostenibles. En este contexto, los sistemas agroforestales y los cultivos con manejo de enmiendas orgánicas se ven como una alternativa tecnológica para productores con escasos recursos y con disponibilidad de fuerza de trabajo.

Algunas de las hipótesis relacionadas a los sistemas agroforestales postulan que estos ofrecen productos múltiples, mejoran las características físicas y protegen los suelos de la erosión, mantienen la materia orgánica, promueven el ciclaje de nutrimentos (Sánchez, 1987) y hacen más eficiente su uso (Young, 1989; Nair, 1987).

El objetivo de este trabajo fué evaluar el efecto del asocio de maíz y frijol con especies arbóreas en callejones o la aplicación de enmiendas orgánicas sobre el balance y la eficiencia de uso de nutrimentos en parcelas de 10 años de experimentación. Se realizó en "La Montaña" área experimental del CATIE en Turrialba Costa Rica dentro del proyecto Arboles Fijadores de Nitrógeno-CIID (Centro Internacional para la Investigación y el Desarrollo).

Los cultivos en callejones están constituidos por hileras de árboles de *Erythrina poeppigiana* (Walp.) O.F. Cook. (poró) o *Gliricidia sepium* (Jacq.) Steud. (madero negro) cuya poda se utiliza como abono verde para las especies anuales (maíz y frijol) que se cultivan entre ellos. El uso de enmiendas orgánicas se refiere a la aplicación por separado de hojarasca de *Gliricidia*, *Gmelina* y *Erythrina* a los que se denominará en lo sucesivo "mulch" y al abono de origen animal al que se le llamará "estiércol".

## II. REVISION DE LITERATURA

1. Importancia de los sistemas agroforestales y la aplicación de enmiendas orgánicas.

De acuerdo a la definición de Nair (1989), agroforestería es el conjunto de sistemas y tecnología de uso del suelo en donde especies perennes leñosas son deliberadamente usadas en unidades de tierra con cultivos y/o animales en arreglos espaciales o secuencia temporal. Esta definición se basa sobre las siguientes premisas (Nair 1989) : 1) La agroforestería es un nombre dado al conjunto de sistemas de uso del suelo que involucran árboles combinados con cultivos y/o animales en la misma unidad de tierra, 2) combina múltiples productos con protección de la base de recursos, 3) pone énfasis en el uso de árboles y arbustos de uso múltiple, 4) es particularmente apropiada para condiciones de bajos ingresos y condiciones naturales frágiles, 5) involucra la interacción de valores socio-culturales y 6) es estructural y funcionalmente más compleja que el monocultivo.

Algunas de las ventajas que se cree pueden tener las asociaciones de cultivos anuales con árboles son: detener la erosión, aportar materia orgánica, hacer disponible nutrimentos no alcanzables por las plantas anuales, mantener la humedad y las condiciones microclimáticas propicias para el desarrollo de los cultivos, incrementar la eficiencia de uso de los nutrimentos, mejorar las propiedades físicas del suelo y propiciar estabilidad al sistema productivo (Russo, 1983; Nair et al., 1987; Young, 1987; Sánchez, 1989; Sánchez, 1987).

Al igual que los sistemas agroforestales, el uso de hojarasca ("mulch") y el uso de estiércol animal como práctica de fertilización es muy antigua y su estudio no es tan reciente como la agroforestería. En la actualidad es una práctica ampliamente



conocida y practicada en países tanto templados como tropicales y particularmente en estos últimos. Actúan sobre el suelo impidiendo el deterioro de su estructura que podría producirse por efecto de las lluvias de gran intensidad, reduciendo la erosión y aumentando la infiltración del agua. Se ha demostrado que cuando terrenos en pendiente se dedican a cultivos, la utilización de cobertura vegetal viva o muerta puede disminuir los efectos erosivos de las lluvias tropicales además de sus ventajas sobre el impacto positivo en la producción (Baver, 1973; Noia, 1977; Bartholomew, 1975). Asimismo las coberturas juegan un papel importante al aislar la superficie del suelo de los cambios bruscos de temperatura y contribuyendo al suministro y regulación de las sustancias nutritivas minerales en el suelo. Se ha comprobado que los residuos agrícolas así como la cubierta vegetal, pueden disminuir la necesidad de ciertas prácticas de labranza (Suárez de Castro, 1965).

Entre las ventajas atribuidas a los sistemas agroforestales y a los cultivos manejados con enmiendas orgánicas se encuentra el uso más eficiente de los nutrimentos que están inherentemente en el suelo o bien son externamente aplicados, ya que el aporte de materia orgánica mejora las condiciones estructurales del suelo, la disponibilidad de agua y nutrimentos, incrementa la capacidad de intercambio de cationes y la capacidad de absorción por las raíces, (Nair, 1987; Sánchez 1981).

## 2. Reciclaje de nutrimentos.

### 2.1. Nitrógeno.

La base filosófica del concepto de cultivo en callejones, como un conjunto de técnicas de uso de la tierra en las que se combina el uso de árboles leguminosos con cultivos, es que la fijación de N por los árboles puede resultar en mayor disponibilidad de N a los cultivos.

Con referencia a la cantidad de nitrógeno que fijan los árboles leguminosos no existe mucha información. Roskoski (1981) reporta valores de 40 kg/ha por año para *Inga jinicuil*, usada como sombra en un cafetal de Veracruz, México. Este hecho es relevante en los trópicos, porque la expansión de la agricultura en pequeña escala a menudo está restringida por la falta de niveles adecuados de nitrógeno en el suelo (Russo, 1983a).

Los experimentos de cultivos en callejones más comunes a lo largo de 15 años han sido con maíz, usualmente en rotación con leguminosas de grano, entre hileras de *Leucaena leucocephala* u otra leguminosa leñosa que pueda ser podada frecuentemente (Kass et al., 1991). En algunos tratamientos las podas son descartadas, en otros son retenidas y pueden ser suplementados con niveles variables de nitrógeno como fertilizante. El primer informe de resultados sobre cultivo en callejones fué publicado por Kang y colaboradores (1981). Otros experimentos se han realizado en diferentes partes del mundo (Guevara, 1976; Kass et al., 1989; Hawkins et al., 1990; Macklin et al., 1988; Salazar, 1990; Gichuru y Kang, 1989, Kang et al., 1990) algunos han incluido diferentes niveles de nitrógeno en parcelas donde el material de las podas se

ha removido. Otros investigadores en Africa (Yamoah et al., 1986; Lal, 1989) incluyen parcelas como controles verdaderos y otros más trabajan con otros géneros además de *Leucaena* (Kass, 1987; Szott, 1987; Kass et al., 1989; Szott et al., 1991; Salazar, 1990; Fernández, 1990).

Los resultados emanados de estos experimentos son muy variables. Sin embargo, en general, puede decirse que las respuestas a cultivo en callejones en ausencia de fertilizante fueron generalmente pequeñas y la aplicación combinada de -por lo menos- nitrógeno como fertilizante y las podas aumentaron considerablemente los rendimientos (Kang et al., 1981, 1985, 1987; Yamoah et al., 1986; Ssekabembe, 1985; Kass et al., 1989).

Las investigaciones han mostrado que aún cuando las podas contienen considerable cantidad de N, solo una pequeña proporción (20% o menos) del N es aprovechado por el cultivo, especialmente en el ciclo de cultivo inmediato posterior (Guevara, 1976; Haggar, 1990; Mulongoy et al., 1990). En este sentido, Mulongoy y Saginga (1990) establecieron que alrededor del 31% del N en las podas no es liberado durante las primeras 12 semanas, 23% es retenido en la materia orgánica del suelo y 39% es perdido a través de lixiviación y volatilización o es absorbido por los árboles nuevamente. Una mayor utilización del N fué observada cuando el material podado es distribuido e incorporado al suelo (Kang et al., 1985) pero esto implica mayores requerimientos de trabajo.

Las adiciones de nitrógeno al suelo y su disponibilidad a los cultivos depende de la especie arbórea de que se trate, de las variedades anuales utilizadas, las densidades tanto de árboles como

de cultivos; la competencia entre los árboles y los cultivos por luz y agua; la cantidad, la calidad y los tiempos de aplicación de fertilizantes; las condiciones climáticas del sitio que determinan las tasas de descomposición y mineralización de la materia orgánica; el manejo (tiempo, cantidad, método de aplicación) de las podas; y las características químicas del material vegetal.

## 2.2. Fósforo.

Varios trabajos de investigación han evaluado el efecto de residuos vegetales sobre la absorción de fósforo y su disponibilidad en los suelos. La aplicación de residuos vegetales frecuentemente incrementa la disponibilidad de fósforo, en tanto que baja su fijación (Li, et al., 1990; Singh y Jones, 1976) encontraron que la aplicación de residuos bajó la fijación de fósforo en los suelos después de 30 días de aplicación.

Dalton y colaboradores (1952) atribuyeron incrementos en absorción de fósforo por las plantas a las adiciones de materia orgánica. Asimismo, el material orgánico fácilmente descompuesto, como abonos verdes y algunos residuos agrícolas, incrementaron la eficiencia de fertilizantes fosforados aplicados, explicando que la materia orgánica redujo la fijación de P (LeMare et al., 1987).

Se ha visto que la liberación de P de materiales orgánicos es máxima dentro de los 36 días después de la aplicación (Blair et al., 1978), pero depende mucho de la composición química del material y de las condiciones climáticas.

Fertilización con P en presencia de adiciones orgánicas resulta en niveles de P lábil que son más altas que con fertilizante solo (Panigua, 1992).

La humedad y la temperatura son quizá los dos factores ambientales más determinantes de la tasa de descomposición de material vegetal y subsecuentemente de la liberación de fósforo al suelo (Dalal, 1970). La mineralización de P orgánico está estrechamente relacionada a la tasa de descomposición de la materia orgánica en el suelo (Li et al., 1990). Se considera que períodos alternos de sequía y humedad favorecen la liberación de este nutrimento (Marumoto, 1982; Amato et al., 1984).

En general se considera que en suelos con bajo contenido de fósforo o con alta fijación de este elemento, los niveles de fósforo para el crecimiento de cultivos anuales son bajos, debido a la continua absorción por los cultivos y por las reacciones inorgánicas de P con los minerales del suelo (Palm et al., 1989; Szott et al., 1991). De aquí que el fósforo puede ser en muchos casos el elemento limitante en los cultivos en callejones con una alta demanda de P, más que en otros sistemas agroforestales tales como plantaciones de sombra o huertos caseros donde la remoción de P por los cultivos es pequeña (Kass, 1991).

Pocos intentos se han realizado para mejorar los sistemas con callejones a través de aplicación de fósforo. Yamoah y Burleigh (citados por Kass, et al. 1991) reportan un considerable incremento en producción de frijol en asocio con *Sesbania sesban* (L.) con una aplicación de 30 y 60 kg/ha de P. En un ensayo con arroz y caupí bajo cultivo en callejones en un suelo Typic Paleudult con bajos

niveles de aplicación de P (25 kg de P/ha/año) se obtuvieron después de tres años bajas respuestas de rendimientos (Salazar, 1990). Yamoah y colaboradores (1986a) reportaron en un ensayo de maíz asociado a arbustos leguminosos en Nigeria, una baja en el balance de fósforo en el suelo de las parcelas control y en las parcelas con *Gliricidia*, en tanto que con *Cassia* y *Flemingia* se observa un incremento en el nivel de este elemento. En otro experimento con maíz y *Leucaena* en Nigeria no se presentaron diferencias aparentes en los niveles de P extraíble entre tratamientos en los cuales se combinaron dosis de fertilización nitrogenada y remoción o retención de la poda (Kang et al., 1985). Onim y colaboradores (1990) reportaron aumentos de los niveles de fósforo en el suelo y mejores rendimientos usando *Sesbania* como abono verde.

Otras pruebas de incremento en los niveles de fósforo orgánico después de varios ciclos de cultivo en callejones son las presentadas por Haggar y colegas (1991) quienes encontraron que la absorción de P por los cultivos fué mayor bajo cultivo en callejones que en el cultivo solo, y que el suministro de P a los cultivos bajo callejones parece ser dependiente del P reciclado y liberado de la poda. El ciclo del P en callejones parece ser autosuficiente al menos bajo las condiciones de una entrada moderada de fertilizante fosforado (Haggar, 1990), pero aún se requiere más investigación en ésta área (Kass et al., 1991).

### 2.3. Potasio, Calcio y Magnesio.

Sánchez (1989) en el experimento de La Montaña encontró que en las reservas del potasio del sistema menos del 0.6% están en el suelo y más del 0.25% en los árboles de los callejones, lo cual pone en evidencia la importancia del árbol en la recirculación y las reservas de K en estos sistemas. Tanto las reservas netas como la recirculación de K de *E. poeppigiana* son mayores que las de *G. sepium*. La aplicación de nitrógeno favoreció la extracción del K para el árbol en el caso del madero negro, pero con el poró la disminuyó drásticamente.

El mismo autor, señala que la aplicación de N a los cultivos tuvo un efecto sobre el Ca y Mg semejante al K en las dos especies. Sin embargo en el caso del Ca, los árboles representaron una reserva mucho menos importante ya que más del 0.9% del total del Ca en el sistema se encontraba en el suelo. Las reservas de Mg en las maderas alcanzan niveles muy importantes en los callejones. Se atribuyen incrementos de Mg en el suelo debido al componente arbóreo (Sánchez, 1989).

Haciendo análogo el cultivo en callejones con una fase de "enriquecimiento" es interesante analizar los datos que ofrecen Sánchez y colaboradores (1985) sobre los cambios ocurridos respecto a las bases intercambiables en varias etapas de crecimiento de arbóreas después del aclareo de un bosque. Para la etapa que ellos llaman de "enriquecimiento" las bases intercambiables pueden ya sea incrementarse o decrecer. El Ca se incrementó en los suelos después de 2 años del aclareo para cultivo de palma aceitera en un alfisol de Nigeria, para palma aceitera y hule en un oxisol de Brasil y

para una plantación de *Gmelina arborea* en un alfisol de Nigeria. El Ca intercambiable no se incrementó durante esta etapa en un ultisol de Malasia bajo hule o bajo palma aceitera en la Costa de Marfil, sin embargo la plantación con palma aceitera en su fase inicial de crecimiento mostró incrementos en la acidéz del suelo y decrementos de K y Ca intercambiables. Un incremento similar se ha detectado en un ultisol de Yurimaguas, Perú, con una continua producción de cultivos anuales, sin fertilización. Este incremento tuvo lugar entre el segundo y tercer años después del aclareo, pero después bajó a niveles similares a los previos al aclareo. Sánchez *et al.* (1985) explica que es posible que un mecanismo efectivo de reciclamiento haga posible utilizar los nutrimentos disponibles, pero sin este mecanismo los nutrimentos pueden perderse. De manera diferente que el Ca y el Mg, el K intercambiable generalmente decrece o permanece igual que el bosque original durante la fase de "enriquecimiento", ya sea en suelos con bajo o alto contenido de este elemento.

En la fase de máximo crecimiento y cosecha de primera rotación, el incremento de pH bajo *Gmelina* estuvo acompañado de un incremento de las reservas de Ca intercambiable. En comparación con parcelas de *Pinus*, *Gmelina* parece actuar como un acumulador de calcio bajo condiciones de suelos ácidos. Esta especie mantuvo los niveles de Mg y K intercambiables (Sánchez, *et al.* 1985).

En Malasia Broughton (1977) concluyó que el uso de mezclas de leguminosas con hule incrementaron el crecimiento inicial de la arbórea y el suelo generalmente tenía mayores contenidos de Ca que bajo pasturas o cubierta natural de malezas.



En general se considera que los productos de las podas de árboles utilizados en cultivos en callejones contienen suficientes cantidades de K, Ca y Mg como para suplir las necesidades de los cultivos (Contreras, 1991). La descomposición y liberación del potasio de la materia orgánica derivada de podas de árboles es muy rápida, puede tomar 20 días para que el 90% del K contenido en residuos sea liberado (Vilas, 1989).

### 3. Eficiencia de uso de nutrimentos

Diamond y colaboradores (1975) y Shields et al. (1974) (citados por Bouldin 1980) presentan ejemplos de situaciones en las cuales la adición de 50 a 100 kg de nitrógeno por hectárea puede incrementar los rendimientos de maíz cuando mucho a 2 ton ha<sup>-1</sup>; la baja eficiencia de uso de los fertilizantes como muestran estos datos, son bastante representativos de las áreas maiceras de Centroamérica (Shields et al. 1974), Sudamérica y Africa (Bouldin et al. 1980).

Diversos trabajos han contemplado el estudio de la dinámica de los nutrimentos en los cultivos en callejones (IITA, 1980, 1982, 1983; Gutteridge, 1985; Kang et al., 1981; Araya et al. 1986; Yamoah, Agboola y Wilson, 1986; Yamoah et al. 1986, Kass y Jiménez, 1986; Kass y Diaz-Romeu 1986; Kass y Araya, 1987; Kass, Jiménez y Camacho, 1987; Kang y Mulongoy, 1987; Budelman 1988). Sin embargo poco esfuerzo se ha concentrado en la evaluación de la dinámica de las reservas y transferencias y en la eficiencia de uso de nutrimentos en estos sistemas productivos.

Para nitrógeno, la eficiencia de uso se ha definido (Moll, et al., 1982) como la producción de grano por unidad de nitrógeno suministrado por el suelo. La eficiencia de uso de nitrógeno es:

$PG/NS$ , donde:

PG= Peso de grano

NS= Nitrógeno suministrado

Existen dos componentes primarios de la eficiencia: 1) la eficiencia de absorción (EA) y la eficiencia con la cuál el nutrimento absorbido es utilizado para producir grano también llamada eficiencia fisiológica o eficiencia de traslocación (Novoa y Loomis, 1981) Estas definiciones son expresadas como sigue:

$EA=NT/NS$

$EU=PG/NT$ , donde:

EA= Eficiencia de absorción

EU= Eficiencia de utilización

PG= Peso de grano

Nt= Nitrógeno total en la planta en madurez fisiológica

NS= Nitrógeno suministrado

De ahí que la eficiencia de uso se define como:

$PG/NS=(NT/NS) (PG/NT)$

Análogamente Van Sanford (1986) y Novoa y Loomis (1981) han definido la eficiencia de uso como la producción de grano por unidad del elemento disponible o el nitrógeno contenido en el grano

como una función del aporte. Bock (1984) señala que la eficiencia del uso de nitrógeno tiene dos componentes, la relación entre producción y cantidad de N aplicado (eficiencia de recuperación o producción) y la relación entre producción y N recuperado (eficiencia fisiológica) .

Los factores que afectan la EU son diversos, entre ellos pueden citarse la continuidad de los cultivos (Hamid, 1972; Standford y Hunter, 1973), la estación de crecimiento, la radiación y la temperatura (Sánchez, 1987), la cantidad suplementada de nutrimentos (Bartolomew y Hiltbold, 1952 y Hamid, 1972; Standford y Hunter, 1973; McNeal et. al, 1971 y Gasser y Iordanou, 1967), la clase de fertilizante (Spratt y Gasser 1970) , disponibilidad de humedad (Dimitrenko et al., 1977; Spratt y Gasser, 1970; Thompson et al, 1975), las características genéticas del material vegetal (Bruetsch y Eates, 1976; Pino, 1979; Novoa y Loomis, 1981; Van Sanford y Mackown; Gupta y Rao, 1989), composición química de la biomasa (Van Kewlen, 1977 y Rojas, 1979 citados por Novoa y Loomis, 1981) y la relación entre nutrimentos (Jansen et al. 1990).

#### 4. Estudios anteriores en el experimento de La Montaña.

Otros estudios se han realizado anteriormente en este mismo experimento. Diferentes aspectos se han abordado a lo largo de diez años de experimentación. Estos han aportado principalmente resultados sobre rendimientos, biomasa, estabilidad de sistemas, características físicas y químicas de los suelos, dinámica de N y P en los tratamientos con árboles y pruebas metodológicas. Estas investigaciones se resumen en el Cuadro 1.

El presente trabajo aporta los resultados de diez años de experimentación para todos los tratamientos (enmiendas, callejones y el control) en lo que respecta a la eficiencia de absorción, eficiencia fisiológica, eficiencia de uso, recirculación, balances de nutrimentos y cambios en el suelo desde un punto de vista dinámico.

Cuadro 1. Estudios anteriores realizados en el experimento La Montaña, Turrialba.

TEMA	REFERENCIA
Dinámica y estabilidad de sistemas	Sánchez (1989)
Resumen de rendimientos, cambios físicos y químicos del suelo, recuperación de N,P,K,Ca y análisis económico para seis años.	Kass <i>et al.</i> (1989)
Dinámica de N y P en los tratamientos con árboles y el control.	Haggar (1990)
Dinámica del N en frijol para el ciclo 1989.	León (1990)
Prueba de metodología sobre fraccionamiento de P en uno de los tratamientos en callejones.	Paniagua (1992)

### III. MATERIALES Y METODOS

#### 1. Objetivo general

Evaluar el efecto en el tiempo del asocio de maíz y frijol con especies arbóreas o la aplicación de enmiendas orgánicas sobre el balance y la eficiencia de uso de nutrimentos en La Montaña, Turrialba Costa Rica.

## 2. Objetivos específicos

-Determinar el balance de Nitrógeno, Fósforo, Potasio, Calcio y Magnesio de los sistemas de maíz-frijol con enmiendas orgánicas, con árboles (cultivos en callejones) y sin árboles ni enmiendas orgánicas (Control) y sus diferencias entre sí.

-Determinar la eficiencia de absorción, eficiencia fisiológica y eficiencia de uso de los nutrimentos por los cultivos anuales de cada tratamiento.

-Identificar el papel que juega la aplicación de nitrógeno y su relación con la eficiencia de uso de cada nutrimento.

- Evaluar los cambios de N total, P disponible y K, Ca y Mg intercambiables en el suelo.

## 3. Hipótesis

A) Los rendimientos y la biomasa de maíz y frijol no responden a la aplicación de abono verde derivado de las podas de los árboles, a las enmiendas orgánicas, a la aplicación de nitrógeno, ni al tiempo del experimento.

B) La recuperación de nutrimentos, la eficiencia de absorción, la eficiencia fisiológica y la eficiencia de uso de nutrimentos no responden a los tratamientos, a la aplicación de fertilizante nitrogenado, ni al tiempo del experimento.

#### 4. Diseño experimental

El experimento fué establecido en el área de cultivos de La Montaña, en el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Turrialba Costa Rica, 9° 53' de latitud norte y 83° 43' de longitud oeste, a una altitud de 602 m. sobre el nivel del mar. La temperatura media anual que caracteriza el área es de 22°C y la precipitación media anual de 2637.7 mm con una estación seca corta de enero a abril. La vegetación, según la caracterización de Holdrige (1987) corresponde a un bosque muy húmedo premontano.

El suelo es de origen aluvial con una textura media arcillosa en los primeros 15 cm, clasificado como Typic Humitropept, fino, hallosytic, isohipertérmico (Kass et al 1989).

El diseño experimental utilizado es un diseño en bloques al azar en parcelas subdivididas, donde la parcela grande corresponde al sistema de manejo (callejones, aplicación de estiércol y aplicación de mulch), la parcela pequeña corresponde a la aplicación o no aplicación de nitrógeno. El modelo estadístico considera a los años de estudio como observaciones de sub-parcela para considerar posibles correlaciones entre observaciones de varios años, siendo su expresión la siguiente:

$$Y_{ijkl} = u + B_i + I_j + E_{ij} + N_k + IN_{jk} + E_{ijk} + M_l + IM_{jl} + NM_{kl} + NM_{jkl} + E_{ijkl}$$

Donde:

- $Y_{ijkl}$  = Variable dependiente.
- $u$  = Media general de la población
- $B_i$  = Efecto del bloque
- $I_j$  = Efecto de tratamiento
- $E_{ij}$  = Error en parcelas principales
- $N_k$  = Efecto del nitrógeno
- $IN_{jk}$  = Efecto de la interacción Trat \* Nitrógeno
- $E_{ijk}$  = Error en las subparcelas

$M_1$  = Efecto de año  
 $IM_{jl}$  = Efecto de la interacción Trat \* año  
 $NM_{kl}$  = Efecto de la interacción Nitrógeno \* año  
 $INM_{jkl}$  = Efecto de la interacción Trat \* Nitrogeno \* año  
 $E_{ijkl}$  = Error total del experimento

Los siete tratamientos utilizados son:

1. Control.- Cultivo de maíz y frijol sin árboles y sin aplicación de enmiendas orgánicas.
2. Mulch (ramas y hojas) de poró (*Erythrina poeppigiana*), 20000 kg/ha de materia fresca, aplicada dos veces al año (total 40,000 kg/ha/año).
3. Estiércol de vaca, 20000 kg/ha de materia fresca aplicada dos veces por año (total 40,000 kg/ha/año).
4. Intercultivo con frijol terciopelo (*Mucuna pruriens*). Después de un año, en el que el crecimiento de *Mucuna* compitió excesivamente con el maíz, se eliminó la *Mucuna*, utilizando en su lugar ramas y hojas de *Gmelina arborea*, 20000 kg/ha de materia fresca aplicada dos veces por año (total 40,000 kg/ha/año).
5. Intercultivo con *Vigna sinensis* L. sembrado dos veces al año. Como este tratamiento, después de cuatro años, no produjo resultados significativamente diferentes al control (Kass 1987), al quinto año del experimento se cambió por ramas y hojas de *Gliricidia sepium* aplicadas en la misma forma que el mulch de poró.
6. Cultivo en callejones con *Erythrina* sembrada por estacas de dos metros de altura, a una distancia de 3 x 6m (555 árboles ha<sup>-1</sup>) podada dos veces al año, a partir de los 12 meses después de



su establecimiento. La primera poda fue realizada en Mayo de 1983.

7. Callejones de *Gliricidia sepium* sembrada a 6 x 0.5m (3333 árboles ha<sup>-1</sup>), plantada por estacas de 60 cm de altura.

El experimento se estableció en 1982. En los primeros tres años, se sembró en mayo de cada año, maíz (*Zea mays* L., Cv. Tuxpeño C-7), y yuca (*Manihot esculenta* Crantz V. Valencia) en densidades de 30000 y 10000 plantas ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Después del tercer año (mayo de 1985) no se volvió a sembrar yuca, y el maíz y el frijol se comenzaron a sembrar con densidades de 40000 y 133000 plantas ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Dos veces por año, se podaron los árboles; se aplicaron las enmiendas en mayo y septiembre, inmediatamente antes de la siembra del maíz o del frijol. Además se aplicó una fertilización base de 38.4 kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> de P como superfosfato triple, 108 kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> de K como KCl. Durante los primeros seis años se aplicó 10 Kg. de Mg. En cada ciclo del cultivo se realizaron análisis de fertilidad del suelo antes de la siembra y se determinó la producción de biomasa de los árboles y cantidad de nutrimentos aplicados.

Se realizó un muestreo de las maderas de los árboles de *Gliricidia sepium* y *Erythrina poeppigiana* para conocer la acumulación de nutrimentos en los tocones. Para cubicar los volúmenes de madera en pie, se utilizó la fórmula de Newton (Rojas 1977). La determinación de contenido de nutrimentos fué la misma seguida con los tejidos vegetales (Díaz Romeu y Hunter 1978).

La unidad experimental consistió en parcelas de 12 x 18m, divididas en dos subparcelas de 6 x 18m. Las parcelas con árboles

de *Gliricidia* son de 12 x 24m, divididas en dos subparcelas de 6 x 24m. Adicionalmente existen seis subparcelas extras de de 6 x 18 m para observación (que no estan bajo el diseño experimental). En total hay 18 unidades experimentales como parcelas grandes de 12 x 18, 3 de 12 x 24m y 6 de 6 x 18m, para un total de 48 sub-parcelas.

Al momento de maduréz fisiológica se tomaron muestras de biomasa para estimar la producción vegetal y el contenido de N, P, K, Ca, Mg, por el método de Díaz-Romeu y Hunter (1987). Para maiz se tomaron muestras de raíz, tallo, hojas, flor y elote; para frijol: raíz, hoja + tallo y vaina (incluyendo el grano).

Se conformó un banco de datos con la información disponible de años anteriores y se realizó el seguimiento de los cultivos para el ciclo agrícola 1991-1992.

Se determinaron los rendimientos de grano y biomasa de cultivos y árboles, la recuperación de nutrimentos, cantidades devueltas al sistema por medio de residuos agrícolas y podas; índices de: cosecha de grano, eficiencia de absorción, eficiencia fisiológica o de traslocación, eficiencia de uso, eficiencia de recuperación por diferencia con el control y eficiencia de uso de los fertilizantes inorgánicos. Asimismo, se construyeron balances para cada tratamiento y se analizaron los cambios en el suelo, desde el segundo y hasta el décimo años del experimento.

Los análisis de la información se realizaron desde archivos ASCII derivados de otros en Lotus y Dbase para ser analizados con el paquete estadístico SAS (1989). Para los análisis no se utilizaron las primeras cosechas de frijol y maíz, por lo que se hará referencia a 9 años del experimento.

Los balances de nutrimentos fueron analizados a través del enfoque de compartimentos, representan la relación aproximada entre entradas y salidas del sistema (Fassbender, 1987, Sánchez, et al. 1985). En virtud de que no fué posible considerar toda la posibilidad de entradas y salidas, en este estudio se toman en cuenta los ingresos por: lluvia, fertilizantes, enmiendas y bombeo de nutrimentos. El bombeo de nutrimentos se refiere a la diferencia de nutrimentos recuperados por los cultivos en callejones en relación al control, no se consideró a la poda como un ingreso, ya que no es un insumo importado al sistema, sino un mecanismo de recirculación que forma parte de él. Los ingresos por lluvia fueron tomados de Hendry et al. (1984). Como egresos se consideraron los nutrimentos exportados como grano y los acumulados en los troncos de los árboles. Otros egresos del sistema como extracciones por insectos, lixiviación y desnitrificación no fueron considerados.

Las variables medidas en el experimento son:

- Cantidad de nutrimentos (químicos+enmiendas+podas) aplicados.
- Biomasa de raíz, hoja, tallo y vaina de frijol en madurez fisiológica.
- Biomasa de raíz, hoja, tallo, flor y elote de maíz en madurez fisiológica.
- Rendimientos de maíz.
- Rendimientos de frijol.
- Biomasa de tallos tiernos, tallos leñosos y hojas de árboles en dos podas anuales.
- Contenido de nutrimentos en cada una de las partes cosechadas para ambos cultivos.

- Contenido de nutrimentos en cada uno de los componentes de árboles.
- Contenido de nutrimentos en el suelo en las profundidades 0-20 cm, 20-40 cm y 40-60 cm.
- Variables climáticas: temperatura, precipitación y radiación.

Finalmente se desarrollaron análisis de varianza, pruebas de rango múltiple de Duncan, pruebas por contrastes, correlaciones y regresiones (Steel y Torrie, 1985) pertinentes para contestar las preguntas centrales de esta tesis.

#### IV.RESULTADOS Y DISCUSION

En lo sucesivo se llamará enmiendas a los tratamientos con mulch de *Gmelina*, *Gliricidia*, *Erythrina* o con estiércol y callejones a los dos tratamientos con árboles. El control se refiere a la rotación maíz-frijol, sin aplicación de enmiendas ni árboles.

##### 1.- Biomasa y rendimientos totales de cultivos anuales.

El análisis de varianza indicó que todos los efectos principales: tratamientos, nitrógeno y año fueron significativos para las variables componentes de la biomasa de maíz (raíz, tallo, hojas, flor y elote), de frijol (raíz, tallo+hojas y vaina) y para los rendimientos de ambos cultivos. La interacción tratamiento\*nitrógeno sólo fué significativa ( $p < 0.05$ ) para la variable rendimiento de maíz (Anexo, Cuadros 2 y 3).

La biomasa total de cultivos anuales fué mayor en los tratamientos con enmiendas orgánicas y callejones (9600 kg ha<sup>-1</sup>) y más bajo en el control (7200 kg ha<sup>-1</sup>; Cuadro 2).

El rendimiento de grano (maíz+frijol) y la aplicación de N inorgánico presentaron también diferencias entre tratamientos ( $p < 0.01$ ), con distintas tendencias entre el maíz y el frijol (Cuadro 2).

CUADRO 2. Biomasa total y rendimientos maíz+frijol, medias de nueve años en Kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, siete tratamientos, La Montaña, Turrialba, Costa Rica.

TRATAMIENTO	RENDIMIENTOS (MAIZ+FRIJOL)	BIOMASA (MAIZ+FRIJOL)
MULCH ERYTHRINA	4633.2 A	10536.1 A
ESTIERCOL	4613.0 A	9795.2 BC
MULCH GMELINA	4126.5 B	8988.5 D
MULCH GLIRICIDIA	4053.2 B	9181.6 DC
CALLEJ. ERYTHRINA	3425.3 C	9995.2 AB
CALLEJ. GLIRICIDIA	3381.3 C	9190.3 DC
CONTROL	3355.8 C	7167.3 E
CON N	4196 A	9799.3 A
SIN N	3664.7 B	8724.9 B

Letras diferentes entre tratamientos significan  $p < 0.01$

Se observó una respuesta positiva significativa ( $p < 0.01$ ) de la biomasa y del rendimiento a la aplicación del nitrógeno con distintas tendencias entre el maíz y el frijol.

## 1.1. Maíz

La biomasa de maíz resultó mayor en todos los tratamientos con enmiendas orgánicas y callejones que en el control ( $p < 0.01$ ), los tratamientos con mulch de *Erythrina* y estiércol tuvieron la mayor biomasa, con una media de  $7400 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ ; la menor cantidad resultó en el control, con una media de  $5700 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  (Cuadro 3).

Los rendimientos de maíz fueron mayores ( $p < 0.01$ ) en los tratamientos con estiércol y mulch de *Erythrina* ( $3380 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ ) intermedios para mulch de *Gmelina*, mulch de *Gliricidia* y el control ( $2800 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ ) y más bajos para los callejones tanto de *Erythrina* como de *Gliricidia* ( $2200 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ ; Cuadro 3).

CUADRO 3. Biomasa y rendimientos de maíz, medias de nueve años,  $\text{Kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ , La Montaña, Turrialba.

TRATAMIENTOS	BIOMASA	RENDIMIENTOS
MULCH ERYTHRINA	8154.5 A	3267.5 AB
ESTIERCOL	7727.1 AB	3501.2 A
CALLEJ. ERYTHRINA	7381.0 BC	2150.3 D
MULCH GLIRICIDIA	7318.5 BC	2982.8 B
MULCH GMELINA	7063.3 BC	2948.1 B
CALLEJ. GLIRICIDIA	6706.4 CD	2189.7 D
CONTROL	5723.1 D	2553.6 C
CON N	7622.1 A	2982.0 A
SIN N	6684.7 B	2615.8 B

Letras diferentes entre tratamientos significan  $p < 0.01$

Para los rendimientos, la interacción tratamiento por nitrógeno fué significativa ( $p < 0.05$ ). En el nivel con nitrógeno, se observó diferencia entre mulch de *Gliricidia* y callejones de la misma arbórea, obteniéndose los mayores rendimientos con el mulch ( $3270 \text{ kg ha}^{-1}$ ) y menores con callejones ( $2218 \text{ kg ha}^{-1}$ ). El resto de los tratamientos resultaron estadísticamente iguales con N y sin N.

Dentro del nivel sin nitrógeno, el mulch de *Erythrina* y el estiércol de vaca resultaron con mayores rendimientos de maíz que el control.

El fertilizante nitrogenado repercutió positivamente en el control, aumentando los rendimientos, en tanto que ninguno de los demás tratamientos respondió ( $p < 0.01$ ). Comparando los rendimientos de maíz en el nivel sin N, los tratamientos con mulch de *Erythrina* y estiércol de vaca fueron más altos ( $p < 0.01$ ).

## 1.2. Frijol

La biomasa de frijol fué mayor en los tratamientos con cultivos en callejones de *Erythrina* y *Gliricidia* y el mulch de *Erythrina* ( $2470 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ ;  $p < 0.01$ ); intermedio en los tratamientos con estiércol, mulch de *Gmelina* y mulch de *Gliricidia* ( $1950 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ ); y el más bajo en el control ( $1450 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ ; Cuadro 4).

Los rendimientos mayores se observaron con el mulch y cultivo en callejones de *Erythrina* ( $1200 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ ); intermedios con el mulch de *Gmelina*, estiércol y callejones y mulch de *Gliricidia* ( $1100 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ ); y los más bajos en el control ( $700 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ ; Cuadro 4).

CUADRO 4. Biomasa y rendimientos de frijol, medias de nueve años, Kg ha<sup>-1</sup> La Montaña, Turrialba.

TRATAMIENTOS	BIOMASA	RENDIMIENTOS
CALLEJ. ERYTHRINA	2614.2 A	1275.0 AB
CALLEJ. GLIRICIDIA	2412.0 A	1191.6 BC
MULCH ERYTHRINA	2381.6 A	1365.7 A
ESTIERCOL	2068.2 B	1111.8 BC
MULCH GMELINA	1925.2 B	1178.4 ABC
MULCH GLIRICIDIA	1863.1 B	1105.1 C
CONTROL	1444.2 C	802.2 D
CON N	2185.8 A	1210.7 A
SIN N	2016.7 B	1046.6 B

Letras diferentes entre tratamientos significan  $p < 0.01$

La aplicación de N inorgánico aumentó significativamente los rendimientos de frijol ( $p < 0.01$ ). La interacción tratamiento por año fué significativa ( $p < 0.05$ ).

### 1.3. Índice de cosecha de grano (IC)

El IC es definido como el cociente porcentual entre el peso de grano y la biomasa total de cada cultivo. Para el maíz, no fueron significativos los efectos del nitrógeno, tampoco las interacciones trat\*año, N\*año y trat\*N\*año. Los mayores índices de cosecha de maíz correspondieron a los tratamientos estiércol, control y mulch de *Erythrina*; intermedio el mulch de *Gmelina* y más bajos el mulch



de *Gliricidia* y ambos callejones. El índice de cosecha para maíz fué afectado asimismo y por el tiempo ( $p < 0.01$ ).

El IC de frijol fué afectado significativamente por el tratamiento, por la aplicación de nitrógeno y por el tiempo ( $p < 0.05$ ), las interacciones no fueron significativas. La prueba de rango múltiple indicó que los mayores IC son los de mulch de *Erythrina*, mulch de *Gmelina* y mulch de *Gliricidia*. Menores fueron los índices presentados por los tratamientos con estiércol, callejones y el control. El cultivo de frijol presentó mayores índices de cosecha que el maíz ( $p < 0.01$ ; Fig. 1).

#### 1.4. Discusión sobre rendimientos y biomasa de cultivos anuales.

Los altos rendimientos de maíz encontrados en los tratamientos con enmiendas orgánicas son atribuidos al aporte de materia orgánica. Es reconocida la acción de la materia orgánica sobre la promoción de condiciones que facilitan una mejor estructura del suelo, mayor humedad, mayor acción de los microorganismos del suelo y la absorción de nutrientes, asimismo, es reconocido el papel de la materia orgánica sobre la capacidad de intercambio de cationes y el bloqueo de los sitios de fijación de P, como fuente de nutrientes y para mejorar la estructura (Sánchez, 1981). Estas ventajas se esperarían tanto para la aplicación de enmiendas orgánicas (mulch o estiércol) como para los callejones, sin embargo éstos últimos tuvieron menores rendimientos de maíz.

Los mejores resultados para frijol en cultivo en callejones se atribuyen a mejores condiciones físicas del suelo o a una mejor sincronización de la absorción con el patrón de liberación de nutrientes de la poda, así como un bajo requerimiento de luz

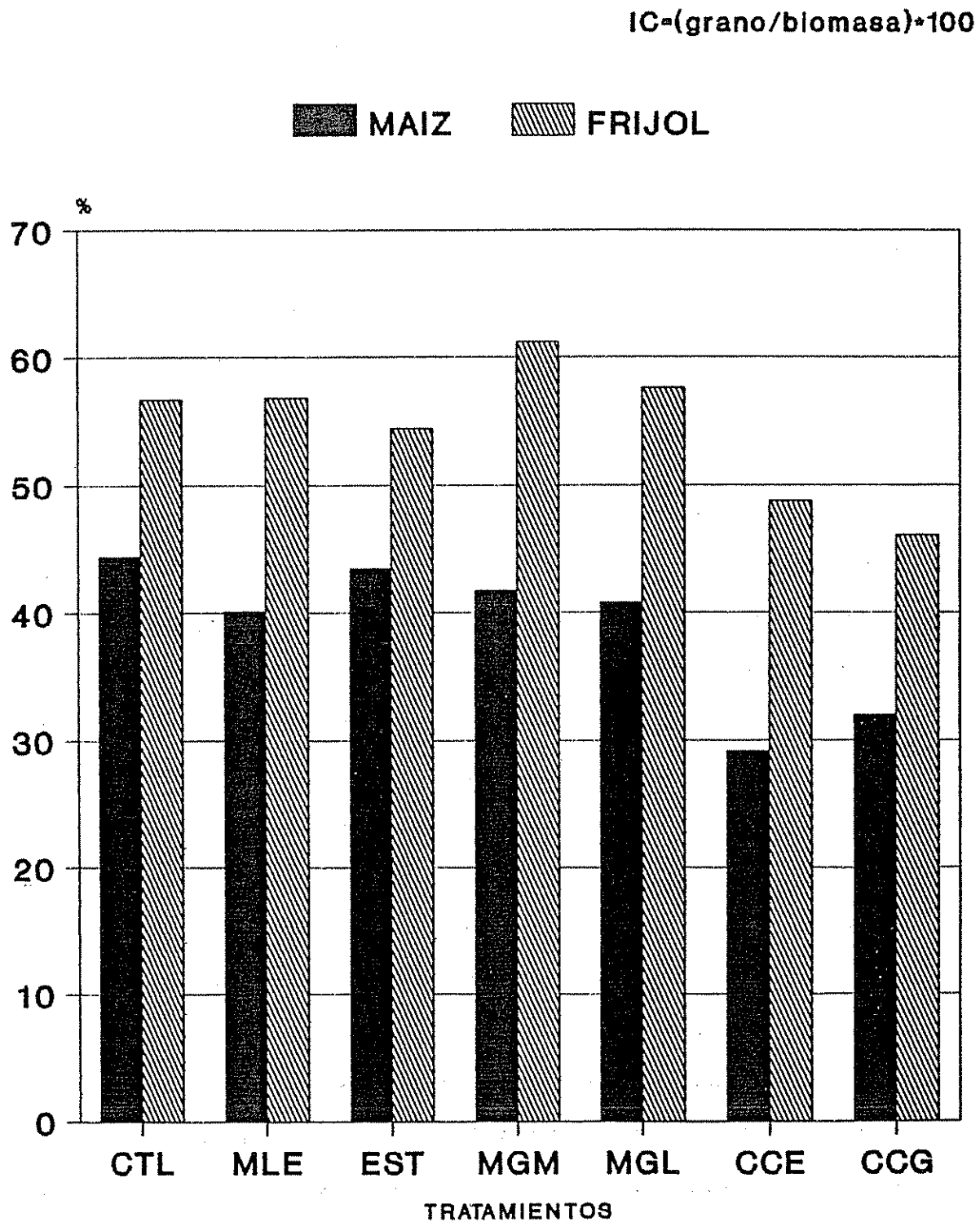


FIG. 1. Índice de cosecha para cada cultivo por tratamiento, La Montaña, Tiba.

como sugirieron Kass, et al. (1992).

Los resultados de rendimientos de maíz en los cultivos en callejones con respecto al control coinciden con los encontrados con *Leucaena* por Lal (1989), Kang (1989) y Gichuru y colegas (1989) en Nigeria, O'Sullivan (1985) en Las Filipinas y Mittal y Singh (1989) en La India, en cuyos experimentos los rendimientos de maíz son menores en el cultivo en callejones que el testigo. Sin embargo, en otros experimentos se han encontrado mayores rendimientos en los callejones comparativamente con el control (Kang et al.; Osinubi, et al.; Kang y Gichuru; Gichuru et al.; Molongoy, todos citados en IITA, 1989; Yamoah et al., 1986; Kass y Araya, 1987 y Mittal y Singh, 1989).

Es interesante hacer notar que en la etapa de madurez fisiológica la biomasa de elote en los cultivos en callejones superó significativamente al control. Más adelante en el ciclo agrícola, sin embargo, el control superó en rendimientos a los cultivos en callejones, lo cual puede sugerir que el llenado de grano fué mayor en el control que en los cultivos en callejones. La limitante en los callejones puede ser la radiación, pues como se sabe el proceso de llenado de grano es determinado por el factor luz ya que es afectado por la longitud del tiempo que las hojas permanecen verdes (Hanway, 1962). Al realizar un análisis de covarianza para la biomasa y los rendimientos en el tiempo utilizando la radiación como covariable, la radiación resultó significativa ( $p < 0.05$ ), lo que comprueba el efecto de esta variable sobre la biomasa y los rendimientos de grano. De ahí, se sugiere que la competencia por luz ejercida por los árboles que en

esta época tienen ya suficientes hojas puede ser un factor entre otros, que baje los rendimientos de los cultivos en callejones.

Esta influencia de la radiación sobre los rendimientos y la biomasa explica en buena medida la interacción tratamiento\*año.

Un análisis de correlación entre la biomasa arbórea y los rendimientos mostró que la biomasa arbórea tiene una relación negativa con los rendimientos de maíz en los cultivos con *Gliricidia* ( $R^2=-0.57$ ), pero no con *Erythrina*, lo cual refuerza la idea de competencia; el factor luz puede ser una limitante para el llenado de grano en los callejones de *Gliricidia* por su estructura de copa extendida, en tanto que *Erythrina* por su estructura de copa compacta limita menos la producción de grano, pero algún otro factor tal vez edáfico es el responsable de los bajos rendimientos de maíz. Hay que resaltar que el rendimiento con mulch de *Erythrina* fué mayor que en el cultivo en callejones con la misma especie arbórea, para ambos niveles de nitrógeno, lo cual evidencia la influencia competitiva del componente arbóreo en los callejones.

En este mismo sentido, Kass, et al. (1987) reportaron para maíz en asocio con *Gliricidia* que los surcos localizados a menos de 2 m de los árboles tuvieron un rendimiento de grano inferior, aunque no hubo diferencia significativa en la producción de biomasa. En el maíz del surco más distante del árbol, solamente 15.7% de las mazorcas fueron dañadas por pudriciones, en tanto que en los surcos más cercanos a los árboles el 30.3% sufrió daño. Los detrimentos por pudrición fueron atribuidos al efecto negativo de la proximidad de *Gliricidia* sobre la calidad del maíz lo que coincide también con los resultados de Kang et al. (1981) en

Nigeria quienes encontraron un efecto de distancia del surco de *Leucaena* sobre el rendimiento de maíz.

El mismo efecto induce a índices de cosecha de maíz más bajos para los callejones, lo cual implica que las entradas al sistema de la planta en los cultivos en callejones están siendo utilizadas para producción de biomasa mayormente, pero no para mayor producción de grano.

El hecho de que la interacción tratamiento por nitrógeno para los rendimientos de maíz sea significativa y que sólo el control responda a la aplicación del nutrimento parece indicar que altos niveles de materia orgánica enmascaran un posible efecto del N inorgánico debido a inmovilización de N causada por la adición de mulch o la poda de árboles (Kass y Szott, com. pers.).

Es importante señalar, que aún el rendimiento más bajo de maíz, que ocurre en el callejón con *Erythrina* y el control, ambos sin N, superaron la media provincial de rendimientos de maíz, que es de 950kg ha<sup>-1</sup> y aún la media nacional que es de 1480kg ha<sup>-1</sup> (Ministerio de Economía, Industria y Comercio de Costa Rica, 1987).

Los rendimientos de frijol se comportan de manera diferente al maíz, ya que los mayores rendimientos se obtuvieron en los callejones. Estos resultados concuerdan con los presentados por Sánchez (1989), Kass y Araya (1987) y León (1990) quienes reportan mejores rendimientos de frijol en los cultivos en callejones que en el testigo.

Para los rendimientos de frijol, la interacción tratamiento por año parece indicar que el efecto de año, posiblemente debido a condiciones climáticas encubre el efecto de tratamiento y de

nitrógeno; el ajuste con la covariable radiación resultó significativo. Asimismo, la variable precipitación correlacionó significativamente con los rendimientos de frijol; a mayor precipitación mayores rendimientos ( $P < 0.05$ ), los coeficientes de correlación fueron altos para todos los tratamientos (entre 58 y 83%) excepto para los callejones y el control donde se obtuvieron coeficientes abajo de 50%. Estos resultados arrojan luz sobre el efecto de los callejones sobre la conservación de humedad, lo que resulta en mejores rendimientos en la etapa de producción de frijol, que es la más seca del año en Turrialba. El control, por su parte, debido a deficiencias de nutrimentos se vé imposibilitado a responder a incrementos de humedad (Fig. 2).

Así como el maíz, los rendimientos de frijol, aún los rendimientos más bajos que fueron los de la rotación maíz-frijol (control) sin nitrógeno, superaron las medias provincial y nacional que son de 400 y 540 kg ha<sup>-1</sup> respectivamente (Ministerio de Economía, Industria y Comercio de Costa Rica, 1987).

La respuesta al nitrógeno se manifestó en el índice de cosecha de frijol, siendo más alto en aquellos donde se aplicó fertilizante nitrogenado que donde no se aplicó, no así para el maíz. La biomasa radicular (maíz+frijol) tuvo una fuerte relación con la absorción de N y con la precipitación (Fig. 3).

Para ambos cultivos, el uso de la radiación como covariable para ajustar los rendimientos y la biomasa resultó significativa, de lo que desprende que tanto la biomasa como los rendimientos de ambos cultivos son afectados por los cambios en radiación lumínica. Aún cuando no se tienen mediciones de radiación dentro de los

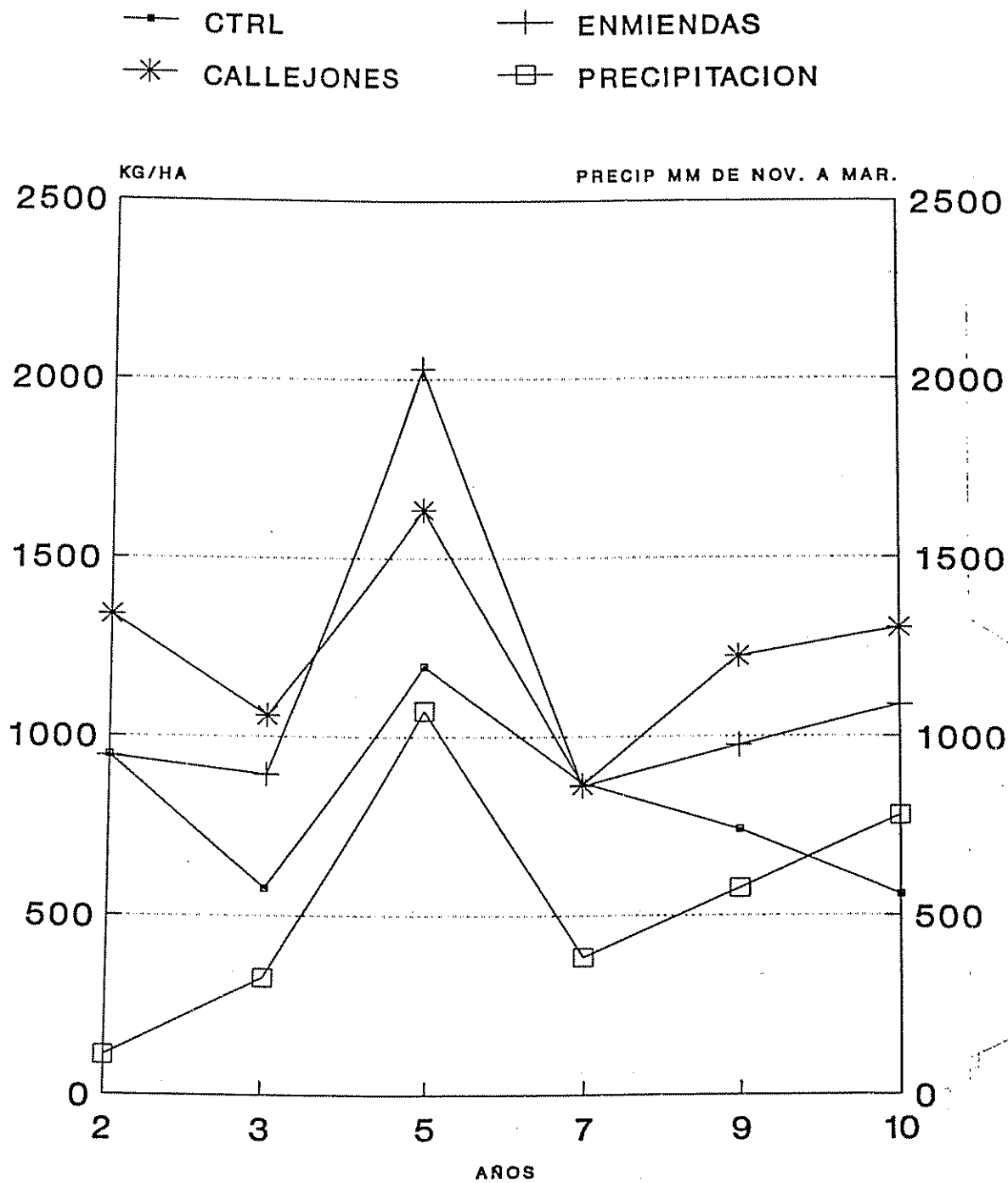


FIG. 2. Rendimientos de frijol, tratamiento por año y precipitación.

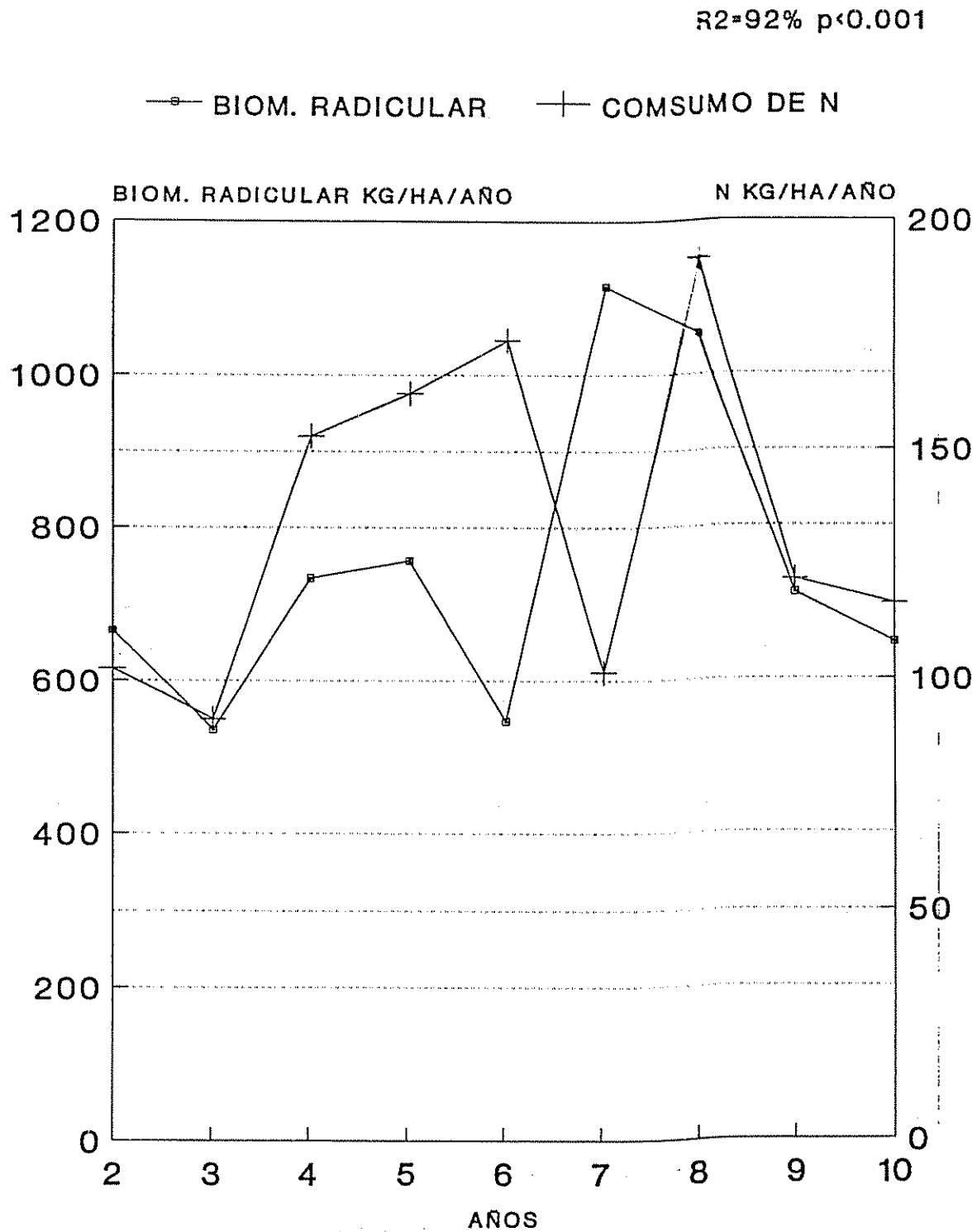


FIG. 3. Tendencias en el tiempo de la biomasa radicular y del consumo de N.



tratamientos, se sugiere que ante esta respuesta a la luz, el maíz, bajo sistemas en callejones, se ve limitado para responder y producir más grano debido a la competencia por luz ejercida por los árboles, mientras que el frijol, por sus características fisiológicas y ciclo corto no es afectado para producir grano bajo estas condiciones.

Estos resultados coinciden con los presentados por Szott (1987) en Yurimaguas Perú, quien encontró mayores índices de cosecha para el caupí (*Vigna*), que para las gramíneas arroz y maíz bajo cultivo en callejones.

Un manejo más adecuado de la sombra podría ayudar a restar la sombra en el período de llenado de grano de maíz, pero también implicaría un gasto mayor de mano de obra, como lo han reportado estudios económicos en cultivos en callejones (Hernández, 1992).

Otros trabajos ofrecen resultados de rendimientos, pero desafortunadamente no presentan los índices de cosecha, los cuales son convenientes para evaluar la relación grano/biomasa total, relación que da una mejor idea del comportamiento fisiológico de cada cultivo y una noción comparativa entre ellos debido a que los rendimientos absolutos de maíz y frijol no son entre sí comparables.

## 2. Biomasa arbórea

El análisis de varianza detectó significancia para los tratamientos y el tiempo ( $p < 0.01$ ). La interacción tratamiento\*N fue significativa. La biomasa fue mayor en *Gliricidia* que en *Erythrina* (7200 y 5600 kg ha<sup>-1</sup> respectivamente; Fig. 4).

El comportamiento de la producción de biomasa de podas mostró una tendencia cúbica a lo largo de los años. Los modelos para la producción de cada tratamiento por nitrógeno se presentan en el Cuadro 5 y las tendencias en la Fig. 4.

CUADRO 5. Modelos para la producción de biomasa de los árboles en callejones. La Montaña, Turrialba.

ESPECIE	N	MODELO (P < 0.001)	R <sup>2</sup>
ERYTHRINA	SIN N	$Y = -18.5 + 17X - 3X^2 + 0.122X^3$	0.72
	CON N	$Y = -12 + 9X - 1.5X^2 + 0.069X^3$	0.57
GLIRICIDIA	SIN N	$Y = -27.5 + 21X - 3.7X^2 + 0.187X^3$	0.57
	CON N	$Y = -15 + 17X - 3X^2 + 0.161X^3$	0.59

Y=PRODUCCION DE BIOMASA HOJA+TALLO TON HA<sup>-1</sup>; X= AÑO.

### 2.1. Discusión sobre la biomasa arbórea.

El sistema agroforestal con *Gliricidia* produjo mayor cantidad de biomasa que el sistema con *Erythrina*, pero *Erythrina* sin nitrógeno produjo más biomasa que con nitrógeno (6900 y 4250 kg ha<sup>-1</sup> respectivamente), y valores similares a *Gliricidia*. Posiblemente *Erythrina* es autosuficiente en N con la cantidad que es capaz de fijar y quizá las condiciones microambientales que genera el fertilizante afectan la relación simbiótica. *Gliricidia*, a diferencia de *Erythrina*, produjo más biomasa con N que sin éste (7600 y 6900 kg ha<sup>-1</sup> respectivamente), probablemente además de su capacidad de fijar N<sub>2</sub>, es más competitiva que *Erythrina* para

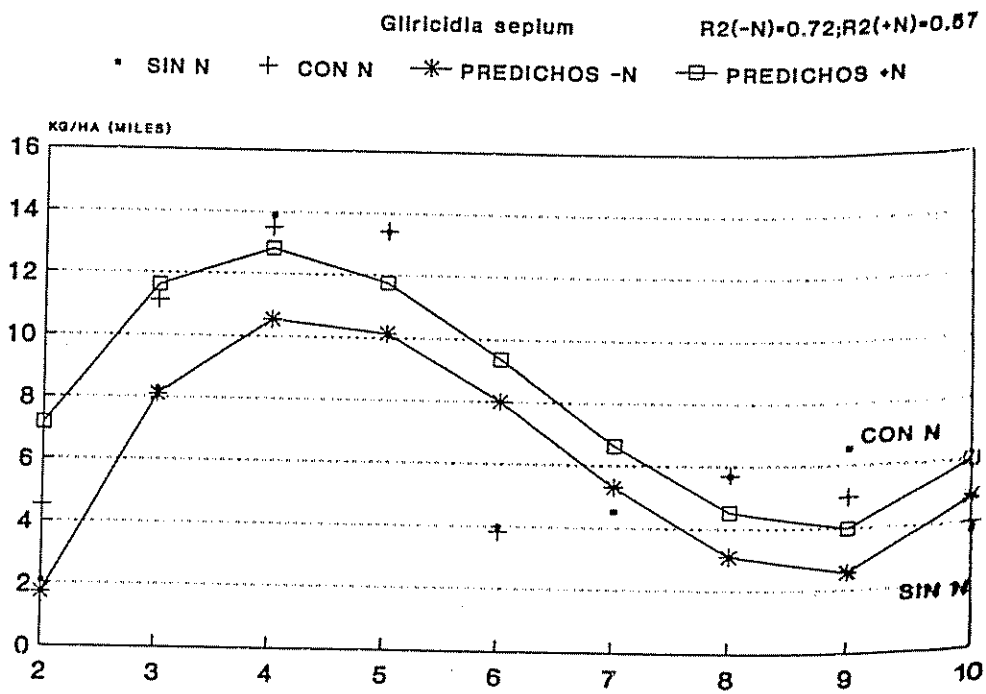
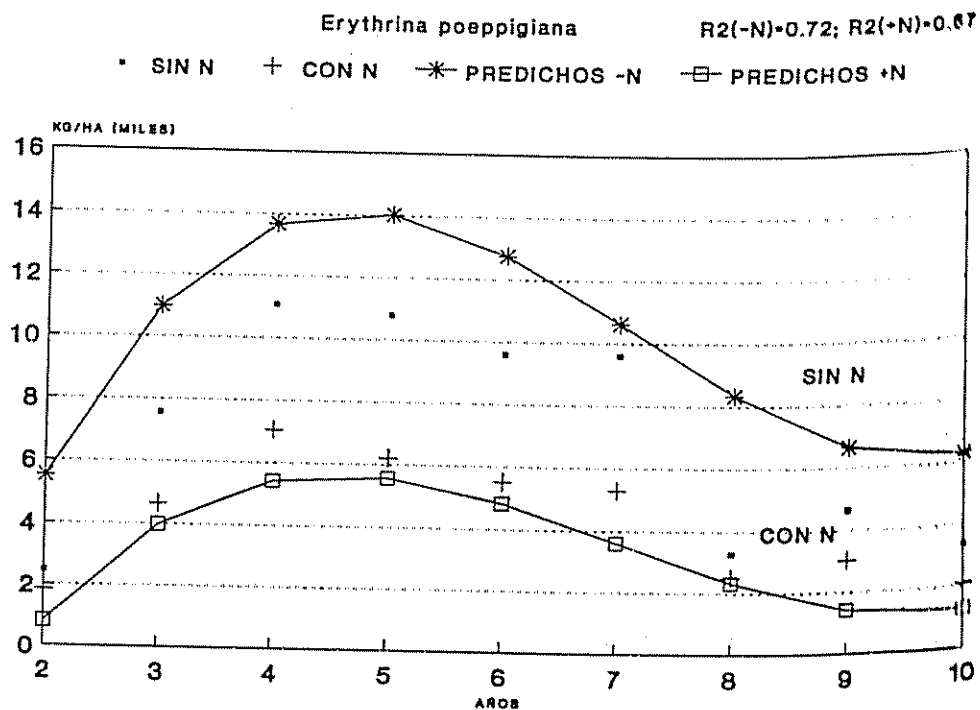


FIG. 4. Comportamiento en el tiempo de biomasa arborea, *Erythrina poeppigiana* y *Gliricidia sepium*.

utilizar el N aplicado.

La cantidad de materia orgánica aportada por la poda está dentro del rango que se reporta como aporte de hojarasca en bosques tropicales húmedos (Vitousek y Sanford, 1986).

### 3.- Absorción de Nutrientos.

#### 3.1. Absorción de Nitrógeno.

El nitrógeno absorbido por los cultivos se expresa como el nitrógeno total e incluye el nitrógeno absorbido tanto por las plantas de maíz como las de frijol en madurez fisiológica (Moll, et al. 1982). Es un índice que revela la capacidad de absorción de los cultivos anuales del sistema.

Todos los efectos principales (tratamiento, N y año) fueron significativos, así como la interacción tratamiento\*año ( $p < 0.05$ ). Los tratamientos con mayor absorción de N fueron los callejones, intermedios los tratamientos con enmiendas y la menor absorción se presentó en el control ( $P < 0.01$ ) (Cuadro 6; Fig. 5).

El nitrógeno absorbido por los cultivos se incrementó 21% cuando se aplicó fertilizante inorgánico nitrogenado ( $P < 0.01$ ).

El nitrógeno absorbido por los cultivos mostró una relación directa con los rendimientos de maíz ( $R^2 = 61\%$ ) en todos los tratamientos, excepto en los callejones, donde la absorción de nitrógeno fue mayor, pero los rendimientos de maíz más bajos. En estos tratamientos los coeficientes de correlación son débiles, tanto en maíz ( $R^2 = 37\%$  para CCE y  $R^2 = 49\%$  para CCG), como en frijol ( $R^2 = 24\%$ ).

### 3.2 Absorción de Fósforo.

La absorción del fósforo fué afectada por todos los efectos principales (tratamiento, N y año) y por la interacción tratamiento por año. El N aplicado afectó significativamente la absorción de P ( $p < 0.001$ ).

CUADRO 6. Medias de 9 Años de absorción de Nitrógeno por los cultivos en los siete tratamientos, Kg N ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> La Montaña, Turrialba.

TRATAMIENTOS	P < 0.01	SIN N	CON N
MULCH ERYTHRINA	(A)	138.0	167.7
ESTIERCOL	(AB)	126.0	162.6
CALLEJ. ERYTHRINA	(AB)	130.0	158.3
MULCH GMELINA	(B)	117.6	147.4
MULCH GLIRICIDIA	(B)	119.3	147.6
CALLEJ. GLIRICIDIA	(B)	125.9	143.9
CONTROL	(C)	84.0	123.8
		CON N	150.2 A
		SIN N	120.1 B

Letras diferentes fueron tratamientos diferentes P < 0.01.

Los tratamientos con mayor cantidad de fósforo absorbido fueron las enmiendas y los callejones (18 kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>), mientras

que el control absorbió la menor cantidad del elemento ( $14 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ ; Cuadro 7; Fig. 6).

CUADRO 7. Medias de 9 años de absorción de fósforo por los cultivos en los siete tratamientos,  $\text{Kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ , La Montaña, Turrialba.

TRATAMIENTOS	P<0.01	SIN N	CON N
MULCH ERYTHRINA	(A)	19.8	20.1
ESTIERCOL	(A)	19.4	20.6
MULCH GLIRICIDIA	(AB)	17.9	18.8
MULCH GMELINA	(BC)	16.7	17.7
CALLEJ. ERYTHRINA	(BC)	16.8	18.3
CALLEJ. GLIRICIDIA	(BC)	16.9	18.0
CONTROL	(D)	12.7	15.3
		CON N	18.4 A
		SIN N	17.2 B

Letras diferentes fueron tratamientos diferentes  $p < 0.01$

### 3.3. Absorción de bases intercambiables (K, Ca, Mg).

La concentración de potasio, calcio y magnesio en la biomasa de los cultivos fué similar entre tratamientos, sin embargo la cantidad absorbida de bases intercambiables fué mayor en los cultivos en callejones y las enmiendas orgánicas que en el control (Cuadro 8). El nitrógeno aplicado y el tiempo influenciaron la cantidad de bases intercambiables que absorbieron los cultivos ( $p < 0.001$ ; Fig. 7).

La absorción de bases intercambiables correlacionó significativamente con el biomasa de raíz ( $R^2=70\%$ ) y con la absorción de N y P ( $R^2= 80\%$  y  $R^2=68\%$  respectivamente). En el control se presentó una relación más estrecha entre estas variables ( $R^2>85 \%$ ), en tanto que en las enmiendas y en los callejones la relación es más baja ( $R^2=69\%$  promedio de enmiendas;  $R^2=63\%$  promedio de callejones; Anexo Cuadro 4).

CUADRO 8. Medias de nueve años de absorción de bases intercambiables (K+CA+MG) por los cultivos en los siete tratamientos,  $\text{Kg ha}^{-1} \text{año}^{-1}$ , La Montaña, Turrialba.

TRATAMIENTOS		SIN N	CON N:
MULCH ERYTHRINA	(A)	186.2	204.9
CALLEJ. ERYTHRINA	(A)	185.1	211.2
ESTIERCOL	(AB)	165.9	202.0
CALLEJ. GLIRICIDIA	(BC)	170.9	178.4
MULCH GMELINA	(BC)	158.6	178.3
MULCH GLIRICIDIA	(C)	154.9	175.9
CONTROL	(D)	109.3	147.1
	CON N	185.4	A
	SIN N	161.6	B

Letras diferentes fueron tratamientos diferentes  $P < 0.01$ .

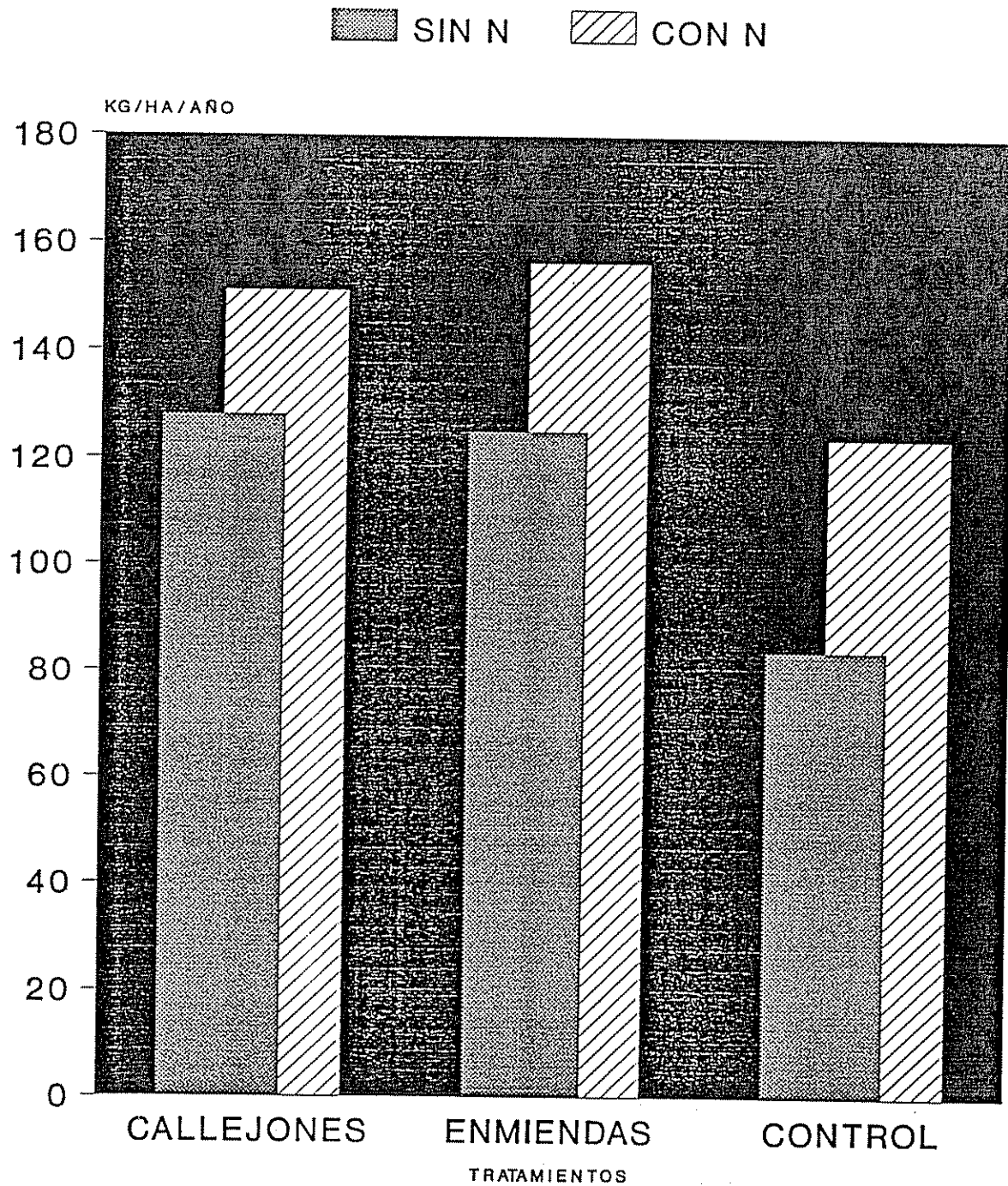


Fig. 5. Absorción de Nitrógeno en los tejidos de los cultivos.



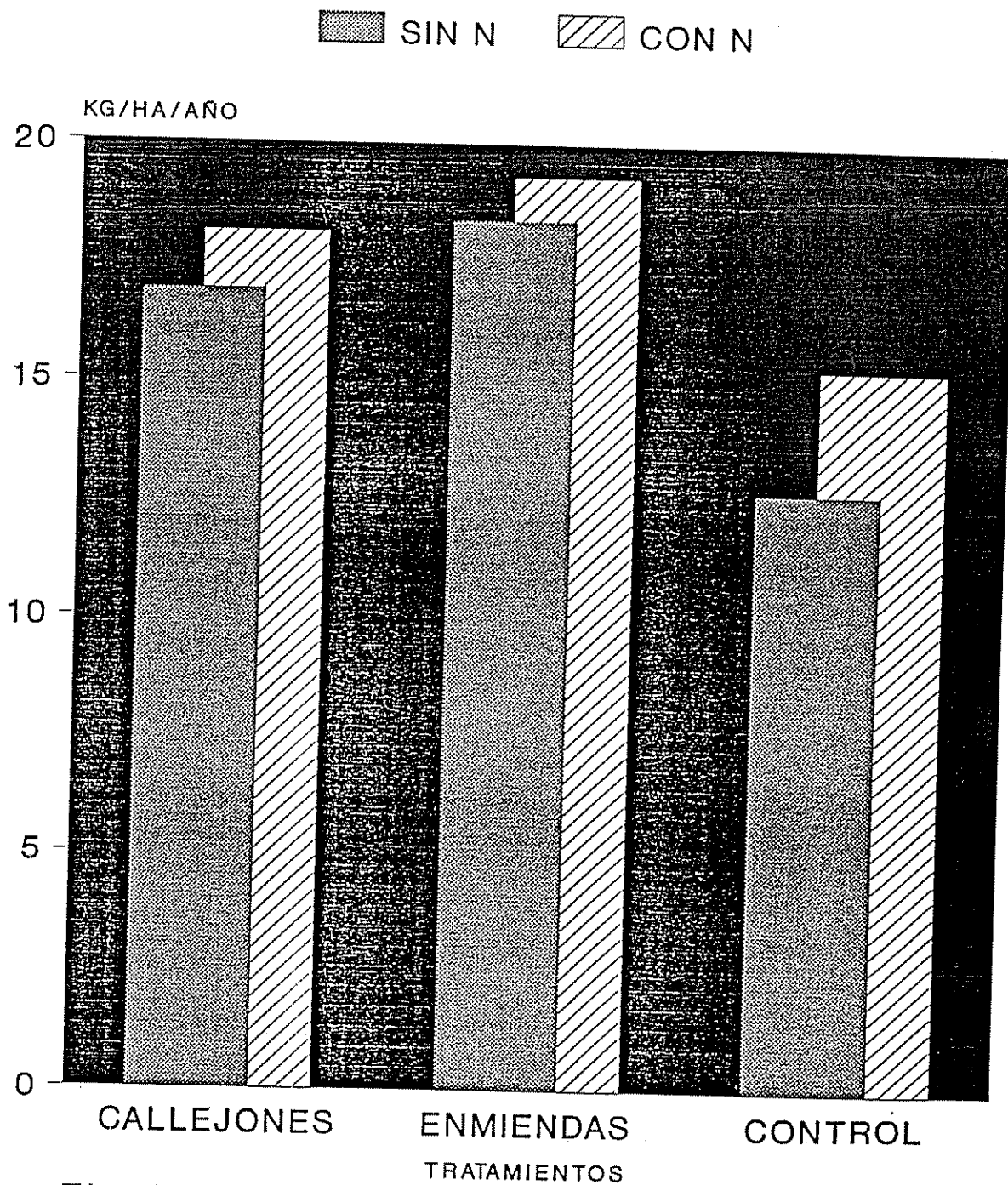


Fig. 6. Absorción de fósforo en los tejidos de los cultivos. La montaña, Tiba.

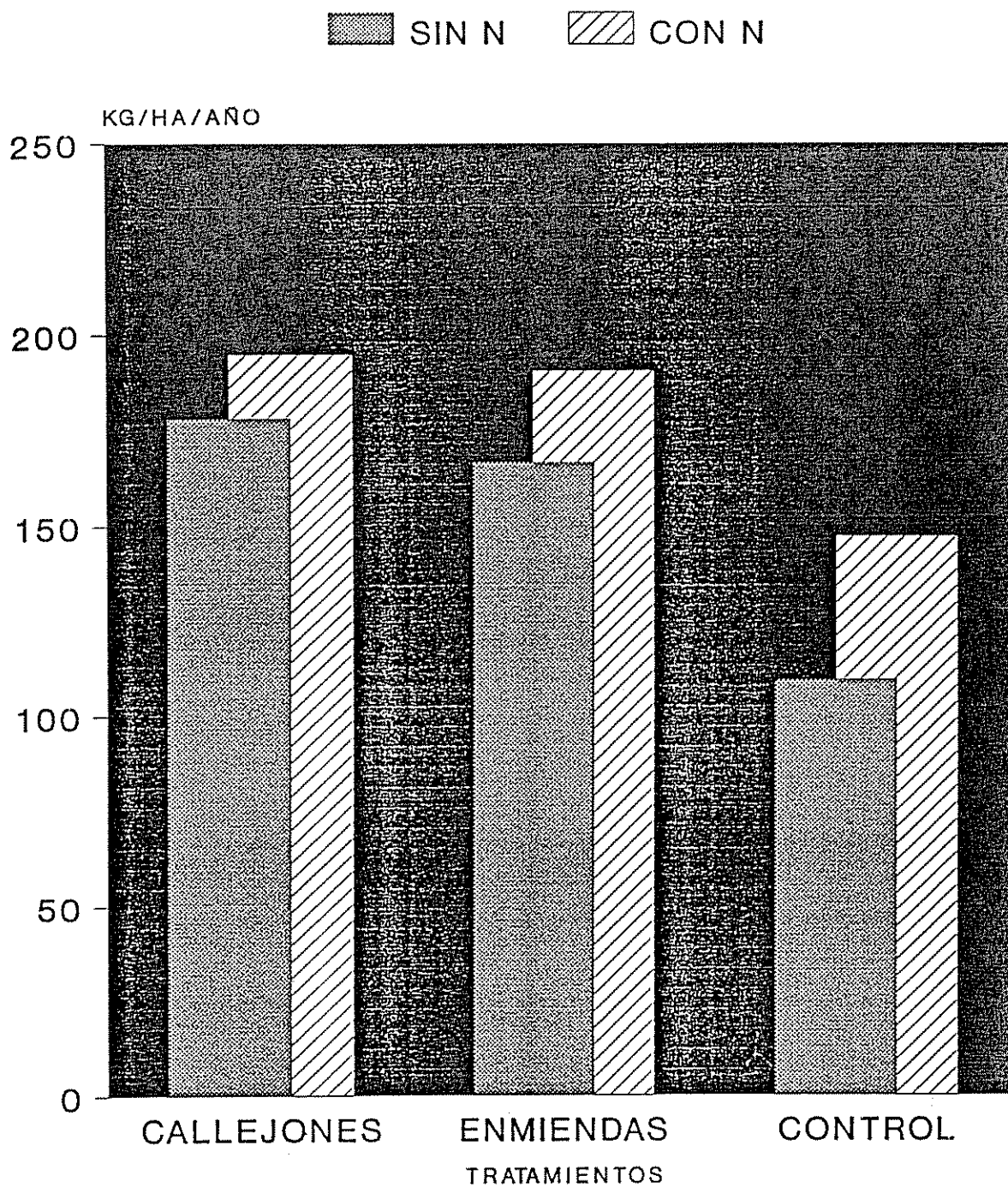


Fig. 7. Absorción de bases intercambiables (K+Ca+Mg) por los cultivos.

### 3.4. Discusión sobre la absorción de nutrimentos.

Es útil analizar los porcentajes de nitrógeno absorbido por los cultivos. Hanway (1962) menciona que un tercio de la absorción de N ocurre durante la 6a. a 8a. semana de crecimiento del maíz. Jordan (1950) opina que excesos de N pueden almacenarse, pero que normalmente la concentración en la etapa de madurez fisiológica es alrededor del 1.2 y 1.3%; concentraciones más bajas indican una limitación para el crecimiento. Todos los tratamientos estuvieron entre 1.3 y 1.5% de N en la biomasa total de maíz, aún en los tratamientos con menores rendimientos, pero al parecer los tratamientos a los que no se aplicó fertilizante, excepto los callejones, están cercanos a la deficiencia de N como se verá posteriormente.

Los resultados de absorción y las concentraciones de todos los nutrimentos estudiados indicaron que en general los cultivos en callejones y con enmiendas orgánicas tuvieron una mayor capacidad de absorción que el control, sin embargo no necesariamente significa que estos sean disponibles y aprovechables para producción de grano. Los sistemas con cultivos en callejones garantizan la recirculación de nutrimentos, absorbiéndolos y devolviéndolos por medio de la hojarasca de los árboles y la mayor cantidad de biomasa de cultivos, reduciendo en cierta medida la posibilidad de pérdidas por lixiviación. Por su parte las enmiendas traducen la mayor absorción de nutrimentos en el grano, aún cuando las cantidades recirculadas son menores, como se verá en el punto de recirculación.

La absorción de nutrimentos por los cultivos mostró una relación directa con los rendimientos de maíz en todos los tratamientos, excepto en los callejones, donde la absorción es mayor, pero los rendimientos de maíz más bajos. Esto es debido probablemente a la baja eficiencia fisiológica o de traslocación que presentan los callejones, la que se discutirá más adelante.

Es importante hacer notar que el nitrógeno afectó la absorción de fósforo, recuperándose más fósforo cuando se aplicó nitrógeno como fertilizante que cuando no se aplicó.

La absorción de N correlacionó estrechamente con los rendimientos de maíz, en tanto que el P correlacionó más fuertemente con el frijol, lo que manifiesta que el N es más determinante para los rendimientos de maíz ya que carece de un sistema de fijación de N, en tanto que, la absorción de P es más determinante para el frijol, ya que requiere P para fijar  $N_2$ .

En general la absorción de todos los nutrimentos correlacionó significativamente con la biomasa radical. Asimismo, la absorción de N, P y bases intercambiables presentaron una relación estrecha entre sí.

La tendencia de la absorción de N a lo largo del tiempo observa variación entre los años, aún cuando la absorción es menor en el control, hay años en que las enmiendas absorben más N que los callejones y viceversa, de ahí la significancia de la interacción trat\*año, lo que parece deberse a efectos de la precipitación (Anexo Fig. 1). Parece existir una relación estrecha entre la precipitación y el consumo de N, pero entre el maíz y el frijol hay una tendencia distinta. La absorción de nutrimentos por maíz es

mayor cuando hay menor precipitación, en tanto que la absorción de nutrimentos por frijol es mayor cuando hay más precipitación.

#### 4. Eficiencia de absorción (EA).

##### 4.1. Eficiencia de absorción de Nitrógeno (EAN).

La eficiencia de absorción es definida como el cociente entre el nitrógeno recuperado por los cultivos y la adición de nitrógeno, incluyendo el N del suelo, el aplicado como fertilizante y en su caso, el N aplicado como mulch o estiércol. No se incluye la absorción de N en el material podado. Este índice es uno de los dos componentes de la eficiencia de uso.

Resultaron significativos los tratamientos, el nitrógeno inorgánico aplicado, el año y la interacción tratamiento por año ( $P < 0.001$ ).

El tratamiento con mulch de *Erythrina* presentó la mayor eficiencia de absorción de N, intermedios fueron todos los tratamientos con enmiendas orgánicas y los callejones y la menor eficiencia se presentó en el control (Cuadro 9).

En general se observó mayor eficiencia de absorción de N en aquellos sistemas donde se aplicó nitrógeno como fertilizante, tanto para el índice calculado con la biomasa como para el índice calculado con los rendimientos de grano ( $P < 0.001$ ).

##### 4.2. Eficiencia de absorción de fósforo en relación al suministro de nitrógeno (EAP).

La eficiencia de absorción de fósforo se tomó como la relación entre el fósforo consumido por los cultivos y el N aplicado en

forma de fertilizante y enmiendas. Este índice resultó significativo para los tratamientos, el nivel de N aplicado y el año ( $P < 0.01$ ). Los tratamientos con enmiendas orgánicas y callejones absorbieron mayor cantidad de fósforo ( $0.17 \text{ kg P/kg}^{-1} \text{ N}$  suministrado) que el control ( $0.13 \text{ kg P/kg}^{-1} \text{ N}$  suministrado; Cuadro 9).

En vista de que existe una estrecha relación entre el consumo de P y la cantidad de N suministrado, vale la pena analizar el cociente P/N. Penning de Vries et al. (1980) sugieren que el cociente P/N en el tejido vegetal es de particular importancia para determinar cual elemento es el principal factor limitante del crecimiento. Concluyen que cuando esta relación en plantas anuales es de  $0.04 \text{ g P g}^{-1} \text{ N}$  en la biomasa, la planta está altamente deficiente en fósforo, por lo tanto los suplementos de este

CUADRO 9. Índices de eficiencia de absorción de N, P, K, CA y MG. en los siete tratamientos, promedios de 2 niveles de Nitrógeno y nueve años, La Montaña, Turrialba.

TRATAMIENTO	EAN	EAP	EAK	EACA	EAMG
	{Kg (N,P,K,Ca,Mg) biom./Kg (N,P,K,Ca,Mg) suministrado}*100				
MULCH ERYTHRINA	1.5 A	0.19 A	13.6 AB	1.2 AB	5.3 AB
ESTIERCOL	1.4 AB	0.19 A	13.4 AB	1.1 AB	5.1 AB
MULCH GMELINA	1.3 B	0.17 AB	12.9 B	1.3 A	5.9 A
MULCH GLIRICIDIA	1.2 B	0.16 B	13.9 AB	0.9 BC	5.1 AB
CALLEJ. ERYTHRINA	1.3 B	0.16 B	16.2 A	1.0 ABC	4.9 AB
CALLEJ. GLIRICIDIA	1.3 B	0.16 B	14.2 AB	1.2 AB	4.8 AB
CONTROL	1.0 C	0.16 C	13.8 AB	0.8 C	4.0 B

Letras diferentes entre tratamientos significan  $P < 0.01$

nutrimento son efectivos para mejorar la productividad. Cuando el cociente P/N alcanza  $0.15 \text{ g P g}^{-1} \text{ N}$  en la biomasa las adiciones de P no tendrían efecto, en tanto que suplementos de N serían efectivos.

La relación P/N en el experimento varía entre 0.13 y 0.17,  $\text{g P g}^{-1} \text{ N}$  en la biomasa. Según este índice ninguno de los tratamientos es deficiente en fósforo, lo que coincide con Paniagua (1992) cuyos datos demostraron que no es necesario aplicar fertilizante inorgánico en forma de P y K cuando se aplican adiciones orgánicas. No obstante estos resultados, todos los tratamientos sin N inorgánico, excepto los callejones están cercanos a la deficiencia de nitrógeno ( $P < 0.001$ ; Cuadro 10).

CUADRO 10. Cociente P:N ( $\text{g P g}^{-1} \text{ N}$  en la biomasa) La Montaña Turrialba.

T R A T A M I E N T O S							
N	CTL	MLE	EST	MGM	MLG	CCE	CCG
SIN N	0.17	0.16	0.17	0.16	0.16	0.14	0.14
CON N	0.13	0.13	0.14	0.14	0.13	0.13	0.13

_____ $\text{g P g}^{-1} \text{ N}$ en la biom. _____		
CONTROL	0.1528	A
ENMIENDAS	0.1478	A
CALLEJONES	0.1355	B

CTL= control; MLE= mulch de Erythrina; EST= estiércol; MGM= mulch de Gmelina; MGL= mulch de Gliricidia; CCE= cultivo en callejones de Erythrina; CCG= cultivo en callejones de Gliricidia. Letras iguales entre sistemas significa  $P < 0.001$ .

#### 4.3. Eficiencia de absorción de Bases Intercambiables.

El índice de eficiencia de absorción de bases intercambiables (K,Ca,Mg recuperado por cultivos/K,Ca,Mg intercambiable +K,Ca,Mg enmiendas + K,Ca,Mg fertilizante) mostró diferencias entre tratamientos, entre los niveles de N y entre años. La eficiencia de absorción de potasio fué mejor para los callejones de *Erythrina*. La mejor eficiencia de absorción de calcio y magnesio ocurrió en el tratamiento con mulch de *Gmelina*. En general la eficiencia más baja ocurrió en el control, excepto para potasio ( $P < 0.01$ ) como se pudo ver en el Cuadro 9.

#### 4.4. Discusión sobre la Eficiencia de Absorción.

La significancia de la interacción tratamiento\*año para la eficiencia de absorción sugiere que factores propios de cada año, como las condiciones climáticas, afectaron el crecimiento de raíces y por ende la absorción de los nutrimentos. La biomasa radicular correlacionó con la eficiencia de absorción ( $R^2 = 79\%$ ,  $P < 0.05$ ). Los tratamientos con enmiendas y callejones tienen mayor biomasa radicular y mayor eficiencia de absorción que el control. A su vez la biomasa radicular presentó correlación con la aplicación de nitrógeno con un coeficiente de 61% ( $P < 0.05$ ). Esto lleva a deducir que la materia orgánica de los tratamientos con enmiendas y los cultivos en callejones, así como la aplicación de nitrógeno mejoran el desarrollo de la planta lo cuál permite una mayor capacidad de absorción de agua y nutrimentos. Esta relación entre la absorción y la biomasa radicular es discutida en otros trabajos en los cuales se argumenta que el índice de eficiencia de absorción



depende de las propiedades radicales tales como la distribución, la superficie y la absorción por unidad de superficie. El consumo por unidad de área depende de factores tales como la concentración de iones alrededor de las raíces, la afinidad de los transportadores de nitrato o amonio a esos iones y al número de tales transportadores. La tasa de consumo de iones cambia con el tiempo y a lo largo de los ejes radicales (Huffaker et al, 1978 ; Welbank et al., 1973; Milthorpe et al, 1974).

En el caso de P, adiciones orgánicas pueden resultar en más P disponible y una eficiencia mayor. También las enmiendas orgánicas resultan en mayor estructura del suelo y una consecuente mayor retención de agua, lo que puede afectar positivamente la absorción de nutrimentos. En general la aplicación de enmiendas orgánicas y el efecto de la poda de los árboles, así como la aplicación de N como fertilizante favorecieron la eficiencia de absorción de N, P, Ca, K y Mg. Se ha descubierto que la calidad y cantidad de nitrógeno, así como el método de aplicación afecta la absorción. (Bartholomew y Hitbold, 1952; Hamid, 1972).

La alta eficiencia de absorción de N mostrada por el tratamiento con mulch de *Erythrina* sugiere que el mulch de *Erythrina* por su rápida descomposición y su incorporación al suelo tiene la capacidad de mejorar la disponibilidad del N o las condiciones del suelo, haciendo que los cultivos puedan aprovechar más eficientemente los nutrimentos a través del desarrollo de su sistema radicular, como ha sido probado en otros trabajos (Baver, 1973; Noia, 1977; y Bartholomew, 1975). Los trabajos de Quinlan (1984) revelan que la mitad del N contenido en el mulch de

*Erythrina* fué liberado en un ciclo de maíz. Asimismo, los trabajos de Beer (1988) demuestran que *Erythrina* tiene un potencial de aporte de  $116 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  de nitrógeno en cafetales, el cual es cercano al encontrado en este experimento, de  $144 \text{ Kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ . Sin embargo, hay pocos estudios sobre la descomposición de los residuos y su mineralización (Fassbender et al., 1987).

La mayor eficiencia de absorción de P que ocurrió en los tratamientos con enmiendas y callejones indica que el N contenido en las enmiendas y las podas derivadas de los callejones, así como el nitrógeno aplicado como fertilizante favorecieron la absorción del fósforo. Con N se encontraron plantas más grandes con más raíces y mayor absorción de P. Esto coincide con Arnon (1975) quien señaló que las cantidades de P acumulado en la planta dependen en gran medida del status del suelo, principalmente del aporte de N. Deficiencias de N pueden tener un efecto más marcado que deficiencias en P para el consumo de fósforo.

La alta relación P/N de todos los tratamientos sin nitrógeno, excepto de los callejones, estaría indicando que de todos estos tratamientos, sólo el cultivo en callejones no presentó deficiencias de nitrógeno, debido quizá a la fijación de  $\text{N}_2$  por los árboles, no obstante que en el nivel sin N, sus balances de nitrógeno resultaron negativos.

También se encontró una relación estrecha entre la absorción de N y P con las bases intercambiables. Se ha demostrado que la suma de cationes inorgánicos en maíz pueden ser regulados por la cantidad y la forma de nitrógeno aplicado (Blanchar et al. y Murdock et al. citados por Arnon, 1975). Las enmiendas y callejones

tuvieron una mayor eficiencia de absorción de calcio y magnesio que el control, lo que concuerda con una mayor absorción. Esto llevaría a plantear una pregunta, si los cultivos de los distintos tratamientos absorben diferentes cantidades de nutrimentos, entonces ¿hay diferencias entre tratamientos en el contenido de nutrimentos del suelo?. Los resultados revelan que para fósforo, calcio y magnesio los contenidos en el suelo son iguales entre tratamientos para los primeros 40 cm ( $P < 0.01$ ), de ahí que la diferencia entre fósforo, calcio y magnesio absorbidos por estos cultivos a diferencia del control provienen de la hojarasca aplicada o en su caso del "bombeo" de nutrimentos de los árboles.

Para el caso del potasio, no solo la absorción es mayor en el caso de las enmiendas y callejones, sino que el contenido en el suelo de estos sistemas productivos es también mayor .

Es necesario resaltar que la eficiencia de absorción de K, Ca y Mg de los cultivos en callejones fué prácticamente igual al de los tratamientos con enmiendas orgánicas, lo cuál implica que los árboles no compiten con los cultivos por estos nutrimentos, al menos en el proceso de absorción.

El nitrógeno aplicado como fertilizante químico aumentó la capacidad de absorber nitrógeno en un 26%, fósforo en un 6%, potasio en un 23% y calcio y magnesio en un 17% ( $P < 0.05$ ). No puede subestimarse el papel que juega el nitrógeno para producción de grano y biomasa, así como en el mecanismo de absorción y reciclaje de nutrimentos.

## 5. Eficiencia fisiológica (EF)

### 5.1. EF del Nitrógeno (EFN).

La eficiencia fisiológica o de traslocación es definida como el cociente entre peso seco de grano y nitrógeno absorbido o consumido por las plantas (Moll et al., 1982). Es el segundo componente de la eficiencia de uso. La eficiencia fisiológica de N fué afectada por los tratamientos, el nitrógeno aplicado y el año ( $P < 0.01$ ).

El mayor índice de eficiencia fisiológica se observó en todas las enmiendas y el control; el índice fué menor en ambos cultivos en callejones (Cuadro 11).

La eficiencia fisiológica del N fué mayor cuando no se aplicó N fertilizante, con una diferencia de 15.3% ( $P < 0.01$ ). En general, la eficiencia fisiológica a lo largo de los nueve años de evaluación del experimento fué menor en los callejones, pero entre los tratamientos con enmiendas y el control se presentaron altibajos, siendo en algunos años mayor en los primeros que en el último. En la Figura 2 del Anexo se presenta la interacción tratamiento\*año para la eficiencia fisiológica del N en maíz.

### 5.2. Eficiencia fisiológica del fósforo.

Se refiere al cociente entre peso de grano y P absorbido por las plantas. No se encontraron diferencias significativas entre tratamientos, ni entre niveles de N. Los años y la interacción tratamiento\*N sí resultaron significativos ( $P < 0.05$ ). Las tendencias tratamiento\*N mostraron que la eficiencia fisiológica del P para las enmiendas y el control fué mayor con N que sin N, pero la

eficiencia fisiológica del P en los callejones fué mayor cuando no se aplicó N (esta tendencia se dió tanto en frijol como en maíz para ambos callejones). Al parecer, en los callejones, la alta cantidad de materia orgánica y su más lenta descomposición en relación al resto de los tratamientos resultó en una inmovilización del N que hizo bajar la eficiencia fisiológica del P cuando se aplicó N. La interacción tratamiento\*N se muestra en la Fig. 3 del Anexo.

### 5.3 Eficiencia Fisiológica de Bases Intercambiables.

La eficiencia fisiológica o de traslocación de K, Ca y Mg fué mayor en el control y las enmiendas orgánicas, ya que a pesar de que los cultivos en callejones absorbieron mayor cantidad de calcio y magnesio e iguales cantidades de potasio que el control, no se vé reflejado en la producción de grano, ya que su eficiencia fisiológica es menor ( $P < 0.01$ ).

El nitrógeno aplicado fué importante para la traslocación del calcio, pero no para el potasio y el magnesio ( $P < 0.01$ ).

### 5.4. Discusión sobre la Eficiencia Fisiológica.

El índice de eficiencia fisiológica corresponde a lo que se conoce también como eficiencia de traslocación (Novoa y Loomis, 1981).

El alto índice de eficiencia fisiológica de N, P y Bases intercambiables que presentaron en general todas las enmiendas y el control, y el bajo índice de los cultivos en callejones apunta a que los primeros son capaces de utilizar los nutrimentos absorbidos

no solo para producción de biomasa, sino capitalizarlo para la producción de grano. Los cultivos en callejones poseen gran capacidad de absorción de nutrimentos, pero posiblemente la limitante lumínica afecta los procesos de partición de carbohidratos, la eficiencia de reducción de nitratos y la remobilización de nutrimentos hacia el grano de maíz, afectando así, las funciones de transporte y almacenamiento, procesos que finalmente influyen en la formación de grano (Novoa y Loomis 1981; Brown, 1988).

CUADRO 11. Indices de eficiencia fisiológica de N, P, K, CA y MG para los siete tratamientos, promedio de 2 niveles de N y nueve años. La Montaña, Turrialba.

TRATAMIENTO	EFN	EFP	EFK	EFCA	EFMG
	(Grano en Kg/ nutrimento absorbido)				
MULCH ERYTHRINA	30.3 A	232.2 A	41.4 B	2.0 AB	3.2 A
ESTIERCOL	32.0 A	230.6 A	45.2 A	2.2 A	3.3 A
MULCH GMELINA	31.1 A	239.9 A	45.1 A	1.9 AB	3.2 A
MULCH GLIRICIDIA	30.4 A	220.9 A	45.4 A	2.0 A	3.3 A
CALLEJ. ERYTHRINA	23.8 B	195.2 A	30.8 C	1.4 C	2.3 A
CALLEJ. GLIRICIDIA	25.1 B	193.8 A	32.8 BC	1.5 C	2.5 A
CONTROL	32.3 A	239.7 A	47.0 A	2.1 A	3.0 A

Letras distintas fueron tratamientos significativamente diferentes  
P < 0.05.

La eficiencia fisiológica del N en general bajó de 31% a 28% para el experimento de La Montaña cuando se aplicó nitrógeno, de una media general de 31% a una media de 28%, lo que coincide con Pearman et al. (1977) quien propone que la causa es la estimulación en el uso de fotosintatos para crecimiento del tallo o para el incremento de la respiración. Makunga et al. (citado por Novoa y Loomis, 1981) desarrollaron esta línea de investigación, confirmando el efecto del N sobre la distribución del carbono, pero con variaciones en el tiempo, lo que atribuyó a la variación en la partición de carbohidratos. Se coincide con algunos investigadores que la eficiencia de traslocación puede bajar con altos suplementos de N (Gasser y Jordanou, 1967; Hucklesby et al., 1971; McNeal et al., 1971), pero se discrepa con otros (Spiertz y Ellen, 1978).

El tratamiento control, a pesar de que tiene un alto índice de traslocación, tiene bajos rendimientos, los cuales pueden atribuirse a insuficientes niveles de nutrimentos disponibles a la planta.

Las interacciones significativas trat\*N se explican a partir de que los tratamientos tienen un efecto diferencial entre la aplicación y no aplicación de fertilizante inorgánico. Esto puede deberse a que excesos de materia orgánica pueden encubrir un posible efecto del N inorgánico para mantener balanceada la relación C:N.

Las interacciones significativas trat\*año y año\*N se explican por un efecto de factores propios de cada año, principalmente radiación y precipitación, que guardan una relación estrecha con la

cantidad de agua disponible en el suelo, la tasa de descomposición de la materia orgánica, la mineralización, la cantidad de nutrientes disponibles, la absorción, la biomasa radicular, factores que en última instancia afectan la eficiencia de los fertilizantes inorgánicos y el efecto de los tratamientos sobre las variables de respuesta (Dalal, 1970; Marumoto, 1982; Amato et al., 1984; Li et al. 1990).

## 6. Eficiencia de uso (EU).

### 6.1. EU de nitrógeno.

La eficiencia de uso de nitrógeno ha sido definida como la producción de grano por unidad de nitrógeno suministrado (Novoa y Loomis, 1981, Moll et al. 1982, Sanford, 1986).

Esta relación fué afectada por el tratamiento, el nitrógeno, el año y las interacciones tratamiento\*año y nitrógeno\*año.

La prueba de rango múltiple mostró al cultivo con mulch de *Erythrina* como el superior en índice de eficiencia, después se tiene a los tratamientos con estiércol, mulch de *Gmelina* y mulch de *Gliricidia*. En un tercer grupo se conjuntan los callejones tanto de *Gliricidia* como de *Erythrina* y el control (Fig. 8; Cuadro 12). Sin embargo tendencias distintas se observaron entre maíz y frijol. La eficiencia de uso para maíz es mayor en los tratamientos con enmiendas que los callejones y el control, mientras que la eficiencia de uso para el frijol es mayor en los tratamientos con enmiendas orgánicas y los callejones que el control ( $p < 0.01$ ). Esto indica que el efecto de las enmiendas aplicadas y los callejones (aporte de materia orgánica, condiciones microclimáticas



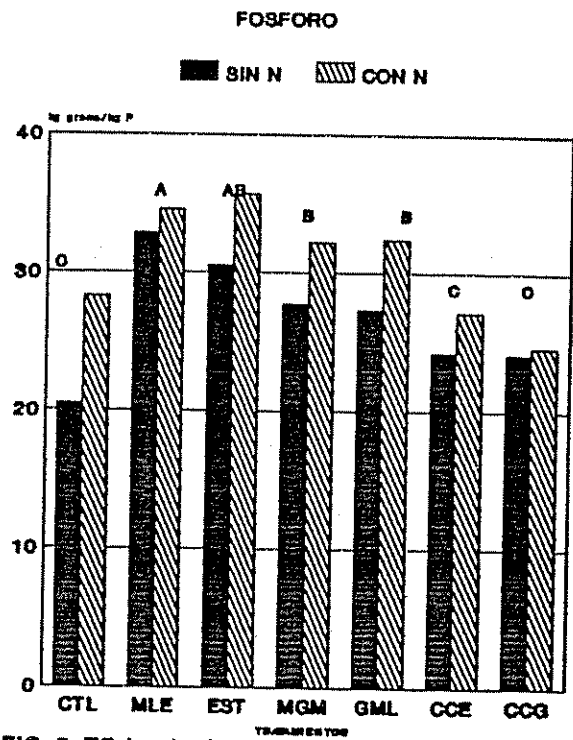
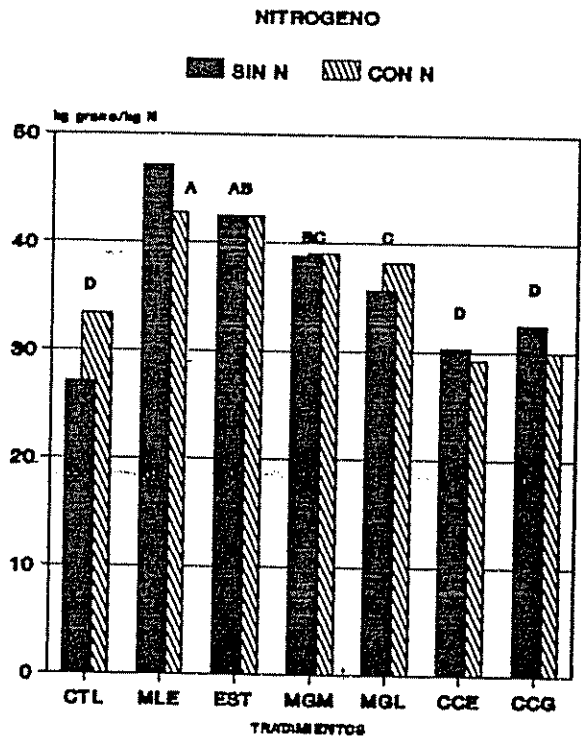


FIG. 8. Eficiencia de uso de Nitrógeno y Fósforo

favorables, principalmente mayor humedad) generadas con los tratamientos con enmiendas y callejones, aunado al ciclo corto de frijol, favorecieron una mayor eficiencia de uso de nutrimentos por el frijol bajo estos tratamientos. El efecto de los tratamientos está determinado por un efecto de la precipitación. A menor precipitación, menor eficiencia de uso ( $p < 0.05$ ).

La modificación de este índice sustituyendo los rendimientos de grano por la biomasa total, arrojó los siguientes resultados: el mayor índice de eficiencia lo presentó el mulch de *Erythrina*. Índices intermedios son los que exhibieron los tratamientos con estiércol, cultivos en callejones, mulch de *Gmelina* y mulch de *Gliricidia*. El menor índice correspondió al control.

## 6.2. EU de fósforo.

Se refiere al cociente obtenido entre el peso seco de grano y el suministro de fósforo (enmienda+fertilizante+suelo). Este índice mostró tendencias similares a la eficiencia fisiológica. Se presentaron los mismos tres grupos estadísticamente diferentes ( $p < 0.05$ ), (Fig. 8; Cuadro 12). Al igual que en el caso del N el control como los callejones y las enmiendas presentaron una tendencia sostenida en el tiempo a excepción del año 6 (1987) en que los rendimientos y la eficiencia son muy altos, debido quizá a un incremento significativo en la precipitación.

Se encontró una correlación directa entre la biomasa radicular y la eficiencia de uso de P, tanto para el índice

calculado con el rendimiento de grano como para el índice calculado con la biomasa ( $R^2=59\%$  y  $94\%$  respectivamente).

El nitrógeno como fertilizante y el efecto de año son significativos ( $P<0.05$ ) en la utilización del fósforo.

### 6.3 Eficiencia de uso de bases intercambiables.

La eficiencia de uso del potasio en general es mayor en el control y las enmiendas orgánicas y menor en callejones, pero en el caso del calcio y del magnesio la eficiencia es mayor en las enmiendas y menor en el control y callejones ( $P<0.01$ ; Cuadro 12). Cuando el índice de eficiencia de uso de bases intercambiables se modificó sustituyendo grano por biomasa total no se observaron diferencias significativas entre los sistemas productivos ( $p>0.05$ ). En ambos casos, para grano y para biomasa, es decisiva la influencia del fertilizante nitrogenado, resultando índices mayores cuando se adicionó este nutrimento, incrementándose la eficiencia en un 20% ( $P<0.01$ ; Fig. 9).

### 6.4. Discusión sobre la Eficiencia de Uso.

Una alta eficiencia de traslocación ligada a una alta capacidad de consumo y asimilación debería resultar en una mayor eficiencia de uso (Huffaker y Rains, 1978). En general, solo los tratamientos con enmiendas orgánicas cumplen con estos tres requisitos. Todo parece indicar que los tratamientos con enmiendas no tienen deficiencias de nutrimentos, tienen buena absorción y traslocación de N, P, K, Ca y Mg, que se traduce en buenos rendimientos. El control parece tener deficiencias de nitrógeno, baja absorción de nutrimentos, baja traslocación de P, y aún cuando

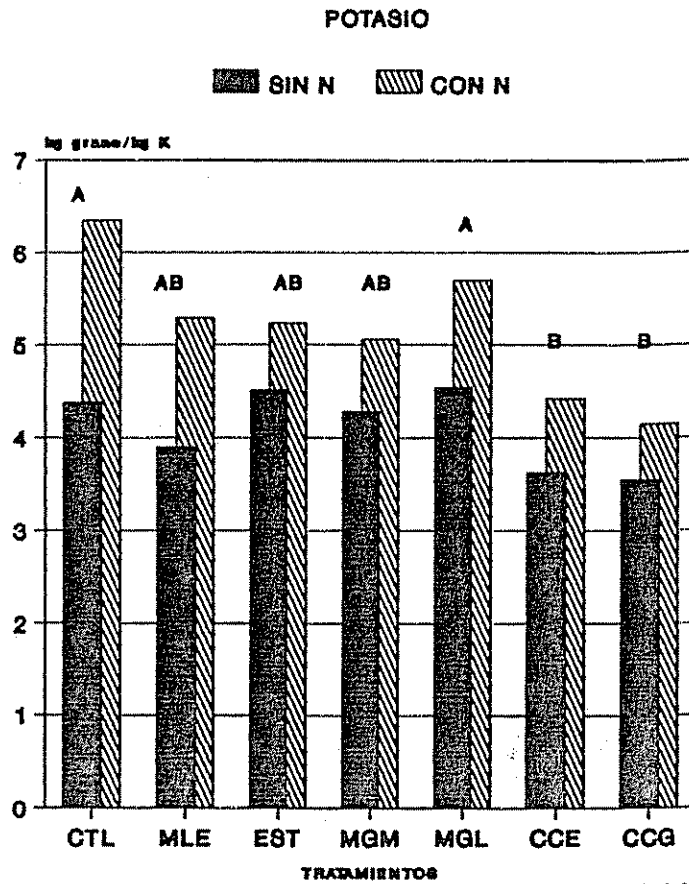
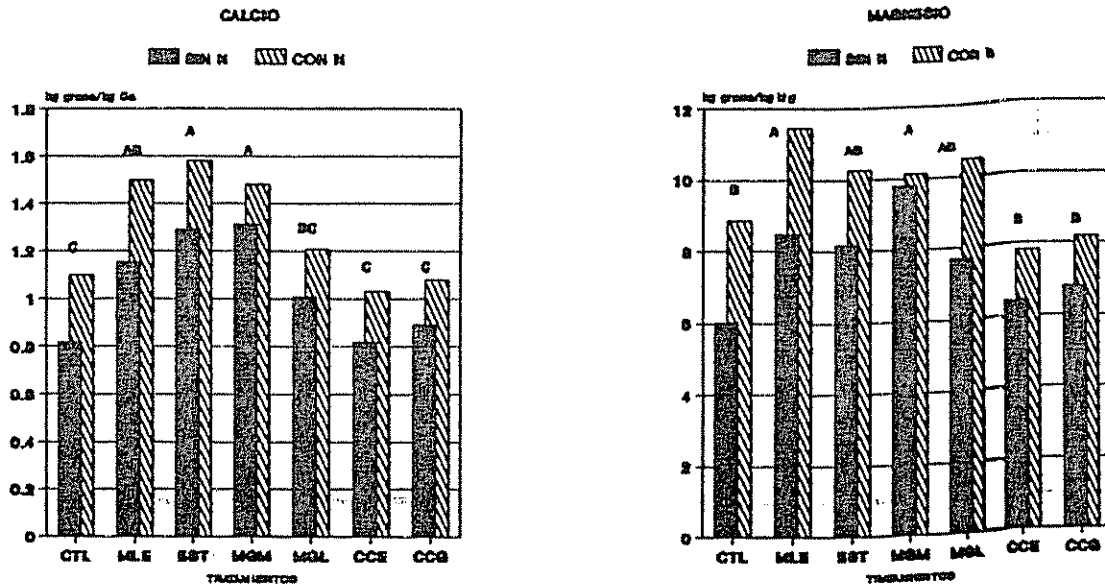


FIG. 9. Eficiencia de uso de Bases Intercambiables La montaña, Turrialba.

presentaron alta eficiencia de traslocación del resto de nutrientes, sus rendimientos fueron más bajos que los de los tratamientos con enmiendas. Los cultivos bajo callejones por su parte, tienen buena disponibilidad de nutrientes y buena absorción, pero el proceso de traslocación de N, K y Ca en el maíz se vé afectado probablemente por la limitante lumínica. Esto pudo corroborarse analizando los nutrientes que recuperan el elote y la vaina en madurez fisiológica en maíz y frijol respectivamente. Los callejones y el control absorbieron la menor cantidad de N en el elote que el resto de tratamientos y de ahí que estas condiciones impidieron el llenado de grano con una consecuente disminución de los rendimientos.

CUADRO 12. Indices de eficiencia de uso de N, P, K, CA y MG para los siete tratamientos, promedio de 2 niveles de N y nueve años. La Montaña, Turrialba.

TRATAMIENTO	EUN	EUP	EUK	EUCA	EUMG
	Grano /nutrimento suministrado (Kg ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> )				
MULCH ERYTHRINA	0.47 A	42.3 B	4.6 AB	1.3 AB	10.0 A
ESTIERCOL	0.44 AB	37.7 BC	4.9 AB	1.4 A	9.2 AB
MULCH GMELINA	0.40 BC	37.3 C	4.7 AB	1.4 A	10.0 A
MULCH GLIRICIDIA	0.37 C	38.5 BC	5.1 A	1.1 BC	9.1 AB
CALLEJ. ERYTHRINA	0.31 D	36.8 C	4.0 B	0.9 C	7.1 B
CALLEJ. GLIRICIDIA	0.32 D	34.4 C	3.8 B	1.0 C	7.5 B
CONTROL	0.32 D	58.9 A	5.4 A	1.0 C	7.4 B

Letras distintas fueron tratamientos significativamente diferentes  
P < 0.05.

Por otro lado, el frijol traslocó mayor cantidad de nutrimentos en los callejones, cantidades intermedias con las enmiendas y la menor cantidad en el control lo que corresponde con sus más altos rendimientos de frijol en los callejones (Cuadro 13).

CUADRO 13. Absorción de nutrimentos en los órganos reproductivos de maíz y frijol en madurez fisiológica.

	ELOTE (KG HA-1 AÑO-1)			
	N	P	K+CA+MG	REND. GRANO
CALLEJONES	30.3 B	3.5 A	64.8 A	2230 C
ENMIENDAS	44.0 A	2.7 B	70.0 A	3170 A
CONTROL	36.9 AB	1.8 C	49.0 B	2550 B
	VAINA (KG HA-1 AÑO-1)			
CALLEJONES	26.7 A	3.5 A	64.8 A	1170 A
ENMIENDAS	20.7 B	2.8 B	67.0 A	1180 A
CONTROL	13.8 C	1.8 C	49.0 B	800 B

Letras diferentes fueron significativamente diferentes  $P < 0.01$

Tanto los tratamientos con enmiendas como los callejones proyectaron a lo largo del tiempo una tendencia de ligero aumento de la eficiencia de uso, excepto por el año 6 (1987) en el que los rendimientos y la eficiencia se dispararon considerablemente (Figs. 10 y 11), pero los coeficientes de determinación son bajos para referirse a cambios significativos.

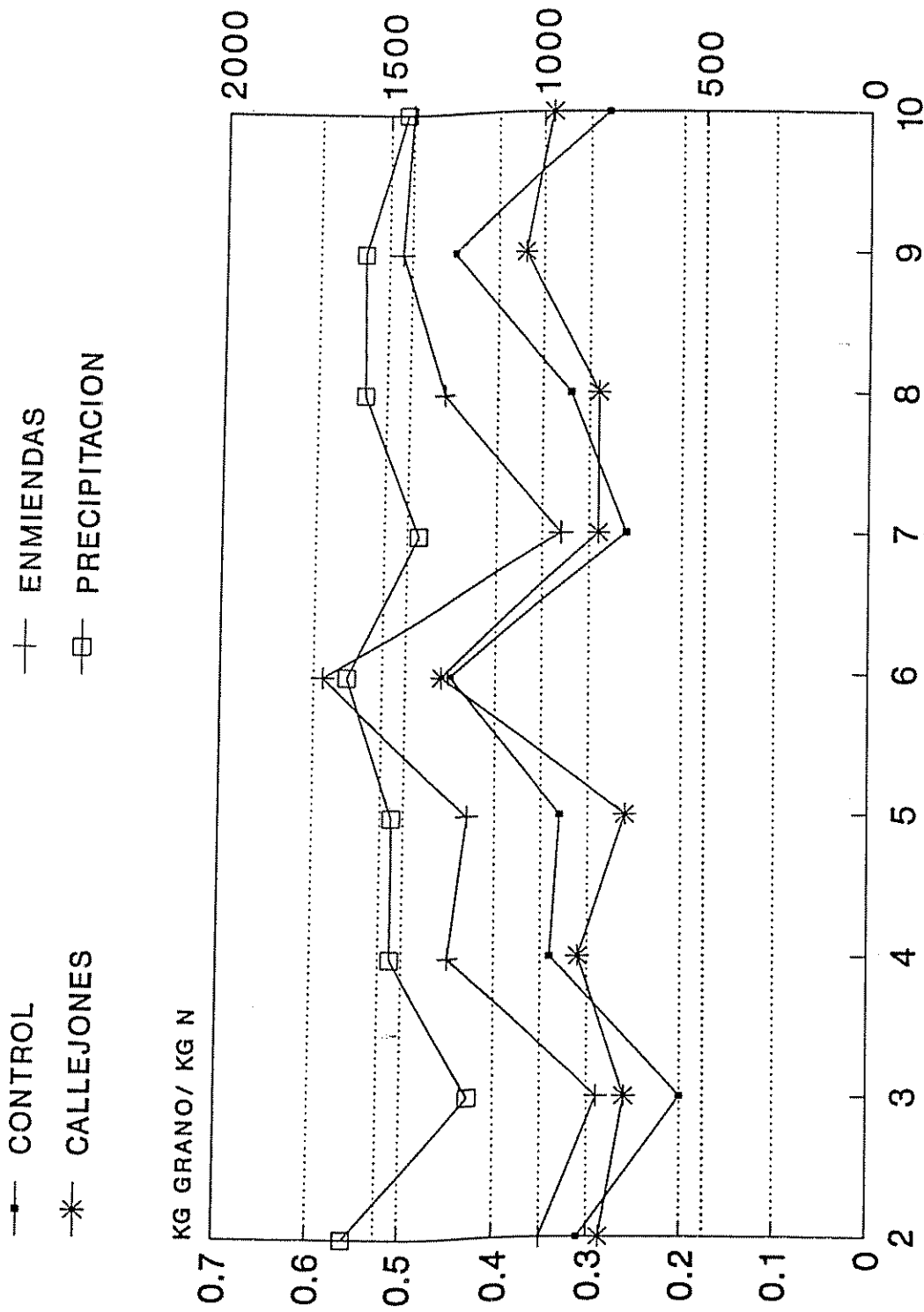


FIG. 10. Eficiencia de uso de Nitrógeno en el tiempo. La Montaña, Turrialba.

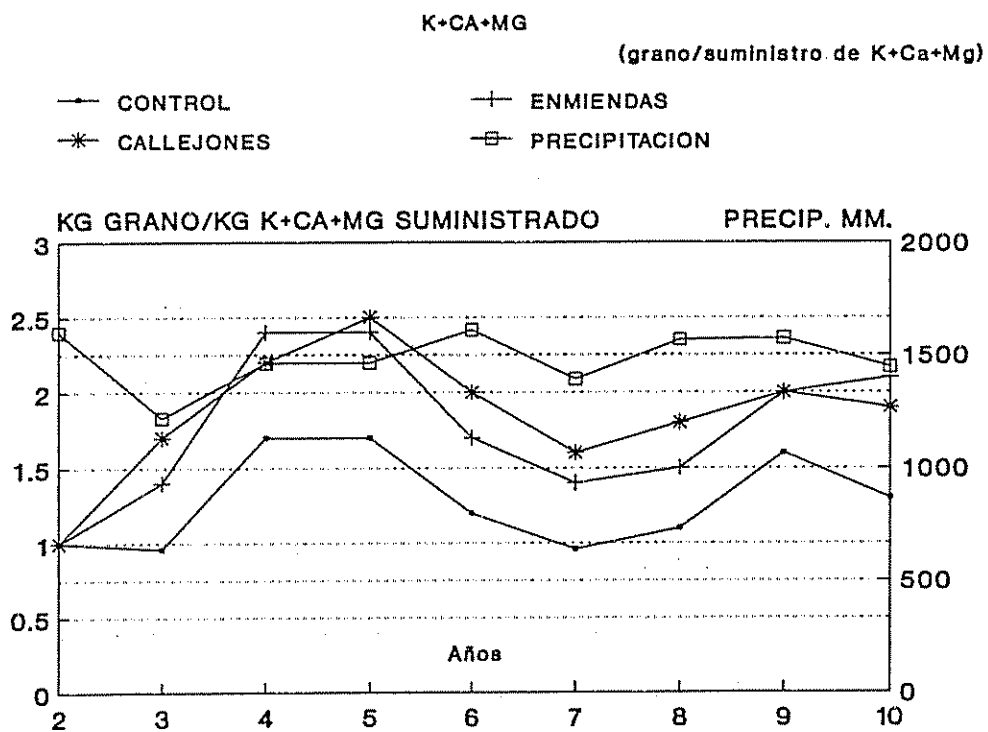
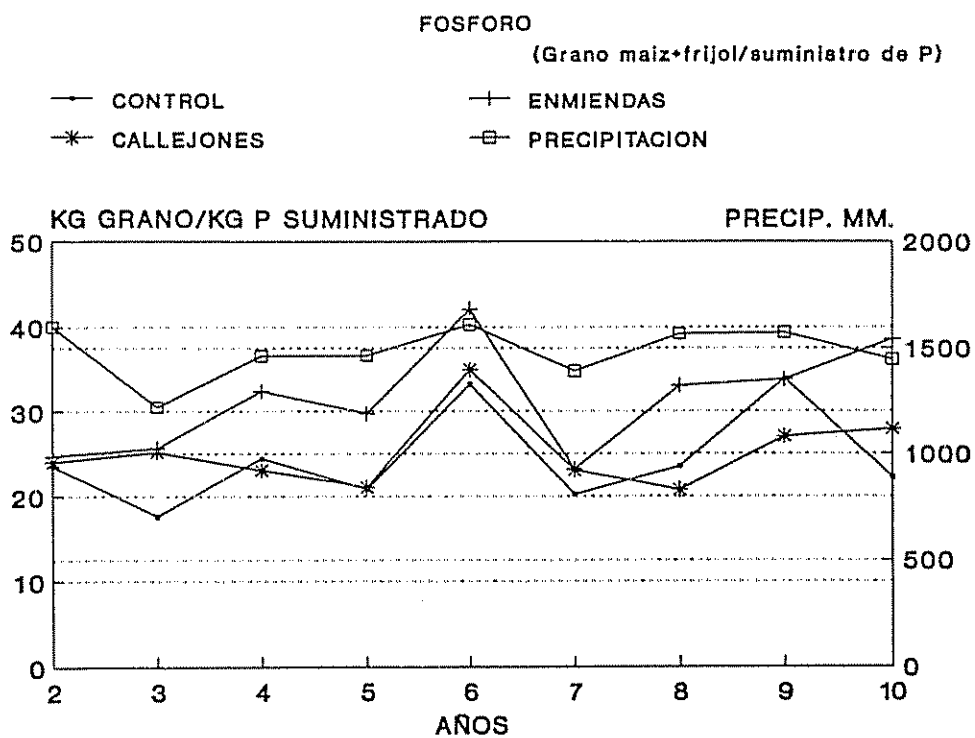


FIG. 11. Eficiencia de uso de fósforo y K+Ca+Mg en el tiempo. La Montaña, Tiba.



Los resultados discutidos demuestran que las enmiendas generan condiciones óptimas para efectuar una mayor utilización de los recursos propios del suelo así como aquellos incorporados como insumos al sistema productivo y, ponen de manifiesto la competencia del elemento arbóreo en esta utilización. Los sistemas con árboles aún cuando tienen gran habilidad para absorber nutrimentos, se cree que buena parte de estos son a su vez consumidos por los árboles, impidiendo que sean utilizados por los cultivos, pero manteniendo las reservas de recursos y la relación mediante transferencia entre el resto de compartimentos del sistema.

Es relevante la aplicación de N en la eficiencia de uso, así como las condiciones del tiempo, pues la eficiencia varía a lo largo de los años en todos los tratamientos, debido quizá a las condiciones climáticas.

#### 7. Eficiencia de Uso de los Fertilizantes Inorgánicos:

N, P, K y Mg.

La eficiencia de uso de los fertilizantes inorgánicos es una modificación del índice de eficiencia de uso. Considerando como aporte de N, P, K y Mg únicamente al fertilizante inorgánico aplicado.

Se encontró significancia para los efectos principales (tratamientos, N y años) y no para las interacciones ( $P < 0.01$ ). Para P, K y Mg la eficiencia de las enmiendas es mayor que los callejones y el control (enmiendas > callejones = control). Para el N

no hay diferencias significativas entre tratamientos. ( $P < 0.01$ ; Cuadro 14).

CUADRO 14. Indices de eficiencia de fertilizantes químicos: N, P, K, Mg. Porcentajes promedio de 2 niveles de nitrógeno y nueve años. La Montaña, Turrialba.

TRATAMIENTOS	N Kg ha <sup>-1</sup>	P de grano	K /Kg ha <sup>-1</sup>	MG fertilizante aplicado	
MULCH ERYTHRINA	30.8A	120.7A	42.9A	474A	474A
ESTIERCOL	30.8A	120.1A	48.7A	446AB	446AB
MULCH GMELINA	27.5A	107.5AB	38.2B	58.1B	436B
MULCH GLIRICIDIA	27.0A	105.6B	37.5B	57.1B	393BC
CALLEJ. ERYTHRINA	22.8A	89.3B	31.7C	48.2C	381.2C
CALLEJ. GLIRICIDIA	22.5A	88.1B	31.3C	45.5C	307D
CONTROL	22.4A	87.4B	31.1C	47.3C	348CD

Letras diferentes entre tratamientos significan  $p < 0.01$ .

Para el mismo índice, sustituyendo los rendimientos de grano por la biomasa total, se encontró significancia para los efectos principales y para la interacción tratamiento por año ( $P < 0.01$ ).

### 7.1. Discusión sobre la Eficiencia de los Fertilizantes inorgánicos.

El análisis evidenció que los sistemas con enmiendas orgánicas son más eficientes para recuperar los fertilizantes fosfórico, potásico y magnésico. Sin embargo para utilizar el

nitrógeno inorgánico, son tan eficientes el control y los callejones como las enmiendas. El comportamiento en general es parecido al de la eficiencia de uso calculada con el suministro total, sea orgánico o inorgánico, sin embargo llama la atención que los cultivos en callejones tienen una alta eficiencia de uso de fertilizante nitrogenado inorgánico, que no ocurre con su eficiencia de nitrógeno total (inorgánico+total del suelo) lo que parecería indicar que la materia orgánica derivada de la poda facilita el consumo del N inorgánico, concordando con su alta eficiencia de absorción.

En todos los tratamientos el nitrógeno inorgánico aplicado tuvo efecto sobre el incremento de la eficiencia de uso del resto de los fertilizantes, encontrándose incrementos de su eficiencia en un 13% con respecto a los tratamientos sin N.

#### 8. Recirculación de nutrimentos.

Los nutrimentos circulantes son la proporción recuperada en forma de cultivos anuales que es devuelta al sistema en forma de podas y residuos agrícolas (raíces, tallos y hojas de maíz y frijol). En general, los tratamientos que devuelven mayor cantidad de nutrimentos son los callejones. En segundo término están los tratamientos con enmiendas y por último el control ( $P < 0.01$ ; Cuadro 15; Fig. 12).

El nitrógeno aplicado influyó en la respuesta, siendo mayor la cantidad de nutrimentos devueltos al sistema cuando se aplicó fertilizante nitrogenado ( $P < 0.01$ ).

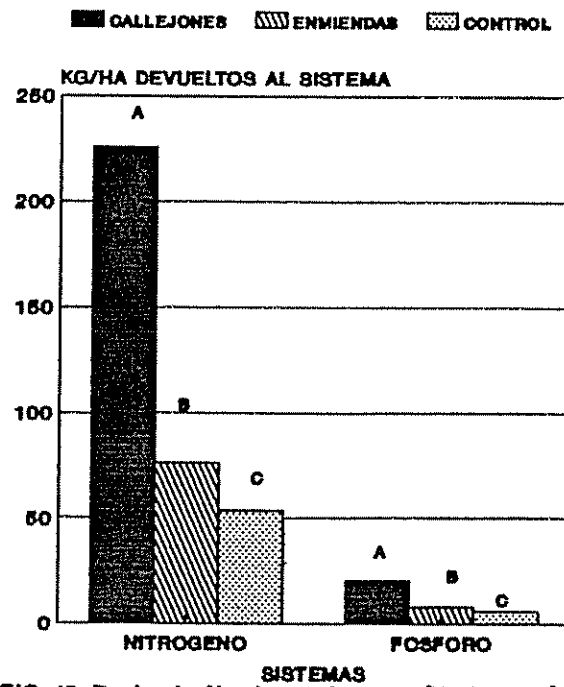
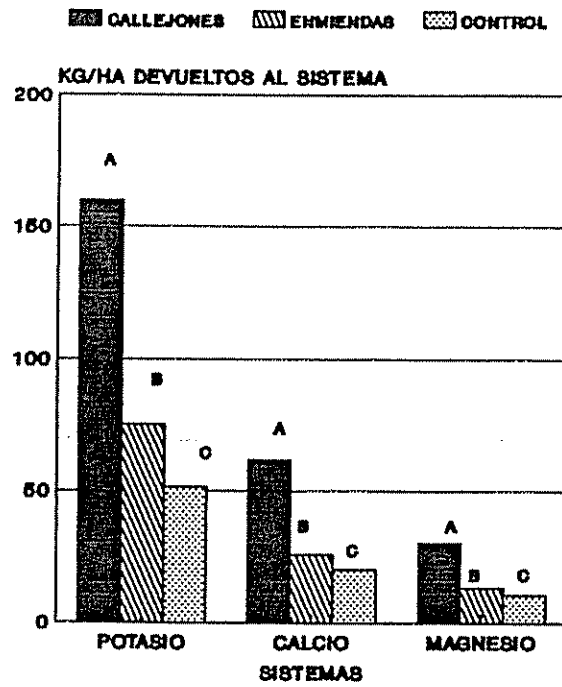
CUADRO 15. Recirculación de nutrimentos en forma de podas y residuos agrícolas en los sistemas de producción de La Montaña, Turrialba.

SISTEMA	N	P	K	CA	MG
KG HA-1 AÑO-1					
CALLEJONES	225.8 A	20.5 A	160.0 A	61.5 A	30.2 A
ENMIENDAS	76.0 B	8.2 B	75.0 B	26.0 B	13.4 B
CONTROL	53.7 C	6.0 C	51.2 C	20.0 C	10.7 C

Diferente letra entre sistema corresponde a  $p < 0.05$

#### 8.1. Discusión sobre recirculación de nutrimentos.

Los resultados confirman la capacidad del sistema en callejones y con enmiendas para recircular los nutrimentos disponibles en el suelo. Los callejones devuelven hasta tres veces la cantidad de nutrimentos que devuelve el control, los tratamientos con enmiendas devuelven con solo residuos agrícolas poco más del doble que éste.



**FIG. 12. Recirculación de nutrientes (Kg/ha/año)**  
La Montaña, Turrialba.

En los callejones, no obstante que los cultivos absorben mayores cantidades de N, P y K, esto solo se capitaliza en rendimientos de frijol. La competencia con los árboles les impide obtener mayores rendimientos de maíz que los cultivos con enmiendas o el control.

Es interesante observar que los callejones y las enmiendas no obstante que recirculan mayor cantidad de nutrimentos que el control, parecen tener cierta deficiencia en la concentración de N y P en el grano de maíz (Cuadro 16), pero no en el resto de componentes de la planta, lo cuál confirma lo que se discutió en el apartado de eficiencia fisiológica, acerca de la limitante de traslocación de nutrimentos hacia el grano. Hagggar (1990) encontró una variabilidad espacial del crecimiento del maíz con respecto a los árboles y explica que puede deberse a la variación espacial del efecto de los árboles al incrementarse la disponibilidad de N y/o debido a la competencia por N, por otros nutrientes o bien por luz o agua. Asimismo encontró que la biomasa de maíz cerca de los árboles de *Erythrina* estuvo acompañada por un bajo contenido de N en el maíz, lo que se explica debido a la baja disponibilidad de N para el cultivo debido a una baja tasa de mineralización en las hileras cercanas a los árboles de *Erythrina*. Según Hagggar (1990) para *Gliricidia* no hay evidencias de que una mayor disponibilidad de N sea la causa de mayores concentraciones en el maíz bajo los callejones con esta especie, pero la respuesta de *Gliricidia* al N inorgánico ofrece evidencia de una mayor competitividad, en menoscabo de la disponibilidad de N para maíz.

Los callejones no obstante que recirculan una mayor cantidad de nutrimentos, acumulan en los troncos alrededor de  $90 \text{ kg ha}^{-1}$  de N;  $72 \text{ kg ha}^{-1}$  de P;  $126 \text{ kg ha}^{-1}$  de K;  $225 \text{ kg ha}^{-1}$  de Ca y  $162 \text{ kg ha}^{-1}$  de Mg, en nueve años de crecimiento. De cualquier manera esto no les resta capacidad de recircular los nutrimentos, aunque los hace momentáneamente no disponibles a los cultivos durante el proceso de acumulación de biomasa arbórea.

El control a diferencia de los callejones exhibe una baja concentración de nitrógeno y fósforo no sólo en el grano de maíz, sino en las hojas y los tallos (Cuadro 16), lo que puede provenir de una baja disponibilidad de estos nutrimentos en el suelo, así como de una deficiencia en la captura de nutrimentos, lo que coincide con su baja eficiencia de absorción. Las enmiendas por su parte parecen tener adecuadas concentraciones de nutrimentos, sin embargo estas son poco más bajas en lo que respecta a nitrógeno del tallo y del grano en relación con las propuestas por Sayre (1955). Las concentraciones de calcio y magnesio, especialmente en el grano fueron muy altas en todos los tratamientos, como pudo apreciarse en el Cuadro 13. Esta significativa exportación de las bases intercambiables puede representar un riesgo, especialmente en los tratamientos con enmiendas y el control, que dependen de los nutrimentos disponibles del suelo o bien de insumos importados al sistema lo cual puede en el caso del control agotar las reservas, y en el caso de las enmiendas, requerir mayores entradas de insumos que pueden ser costosos. En este sentido, los callejones tienen la ventaja de que el compartimento constituido por la biomasa arbórea conforma una reserva.

CUADRO 16. Comparación de concentraciones adecuadas para el desarrollo del maíz (Sayre 1955) y las encontradas en los sistemas de La Montaña.

	REQUERIMIENTO	CALLEJONES	ENMIENDAS	CONTROL
NITROGENO				
HOJAS	2.0	2.0	2.0	1.8
TALLOS	0.7	0.7	0.6	0.6
GRANO	1.5	1.4	1.4	1.4
FOSFORO				
HOJAS	0.25	0.25	0.24	0.23
TALLOS	0.11	0.11	0.11	0.10
GRANO	0.29	0.28	0.29	0.28
POTASIO				
HOJAS	1.6	1.7	1.7	1.6
TALLOS	1.2	1.6	1.4	1.2
GRANO	0.35	1.0	0.99	1.0
CALCIO				
HOJAS	0.3	0.5	0.5	0.5
TALLOS	0.1	0.2	0.19	0.18
GRANO	0.01	0.12	0.13	0.12
MAGNESIO				
HOJAS	0.25	0.30	0.32	0.32
TALLOS	0.09	0.23	0.23	0.25
GRANO	0.08	0.18	0.20	0.18



En cada poda cantidades significativas de N, P, K, Ca y Mg, son transferidas al suelo y a los cultivos, evitando pérdidas por lixiviación, lo cuál permite mantener el "pool" de estos recursos mejor que el resto de tratamientos.

#### 9. Eficiencia de recuperación por el método de la diferencia.

El control representa el potencial de nutrimentos que el suelo es capaz de suministrar sin aplicar ningún tratamiento. de ahí que este índice ofrezca la posibilidad de contestar una importante pregunta: ¿qué diferencia de recuperación existe entre los sistemas con enmiendas y callejones, y el control?. Es un índice dependiente de la recuperación del control, ya que es un cociente porcentual que se obtiene de restar a la cantidad recuperada de cada tratamiento la cantidad recuperada del control, en su respectivo nivel de N, y dividir el resultado entre el nitrógeno suplementado (incluyendo los que suministran las enmiendas, los fertilizantes y en el caso de los callejones, las podas).

Para el N, P y bases intercambiables la tendencia fué de mayor eficiencia para los callejones. Menor eficiencia de recuperación presentaron las enmiendas (Cuadros 17, 18 y 19).

##### 9.1. Discusión sobre la Eficiencia por Diferencia.

Los resultados evidencian la capacidad de los sistemas en callejones para recuperar nutrimentos, tanto N, P, como bases intercambiables. Seguidos de los callejones se destacan los tratamientos con mulch de *Erythrina* y el estiércol para recuperar N, P y bases intercambiables.

En el Cuadro 20 se muestra una comparación por contrastes de las variables nitrógeno, fósforo, potasio+magnesio+calcio absorbidos por los cultivos en los diferentes sistemas productivos. No es posible hacer comparaciones del índice de eficiencia por diferencia, toda vez que el índice de cada tratamiento depende de la recuperación de nutrimentos del control y por lo tanto son interdependientes (Steel y Torrie, 1985).

CUADRO 17. Eficiencia de recuperación de nitrógeno por diferencia con el control, medias de 9 años, siete tratamientos, La Montaña, Tlba.

TRATAMIENTO	SUMI- NISTRO DE N	N RE- CUPERA- DO CULT.	N REC. PODAS	N TOTAL RECUPE- RADO.	INCREMENTO SOBRE CONTROL	EFI- CIEN- CIA
CONTROL -N	0	84		84	---	% ---
CONTROL +N	150	123.8		123.8	---	---
MULCH ERY. -N	229	138		138.0	54	23.6
MULCH ERY. +N	379	167.7		167.7	43.9	11.6
ESTIERC. -N	154.6	126		126.0	42	27.2
ESTIERC. +N	304.6	162.6		162.6	38.8	12.7
MULCH GME -N	188.4	117.6		117.6	33.6	17.8
MULCH GME +N	338.4	147.4		147.4	23.6	7.0
MULCH GLI -N	249.4	119.3		119.3	35.3	14.2
MULCH GLI +N	399.4	147.6		147.6	23.8	6.0
CALLEJ.ERY -N	135.2	125.5	135.2	260.7	176.7	130.7
CALLEJ.ERY +N	246	157.3	96.0	253.3	129.5	52.6
CALLEJ.GLI -N	173.8	126.9	173.8	300.7	216.7	124.7
CALLEJ.GLI +N	332.1	147.8	182.1	329.9	206.1	62.1

CUADRO 18. Eficiencia de recuperación de Fósforo por diferencia con el control, medias de 9 años, siete tratamientos, La Montaña, Tlba.

TRATAMIENTO	SUMI- NISTRO DE P	P RE- CUPERA- DO CULT.	P REC. PODAS	P TOTAL RECUPE- RADO.	INCREMEN- TO SOBRE CONTROL	EFI- CIEN- CIA
						%
CONTROL -N	38.4	12.7		12.7	---	---
CONTROL +N	38.4	15.3		15.3	---	---
MULCH ERY -N	61.6	19.8		19.8	7.1	11.5
MULCH ERY +N	61.6	20.1		20.1	4.8	7.8
ESTIERC -N	65.2	19.4		19.4	6.7	10.3
ESTIERC +N	65.2	20.6		20.6	5.3	8.1
MULCH GME -N	63.6	17.9		17.9	5.2	8.2
MULCH GME +N	63.6	18.8		18.8	3.5	5.5
MULCH GLI -N	56.0	16.7		16.7	4.0	7.1
MULCH GLI +N	56.0	17.7		17.7	2.4	4.3
CALLEJ ERY -N	50.1	16.8	11.7	28.5	15.8	31.5
CALLEJ ERY +N	46.0	18.3	7.6	25.9	10.6	23.0
CALLEJ GLI -N	52.1	16.9	13.7	30.6	17.9	34.4
CALLEJ GLI +N	52.8	18.0	14.4	32.4	17.1	32.4

CUADRO 19. Eficiencia de recuperación de bases intercambiables (B I): K+CA+MG por diferencia con el control, medias de 9 años, siete tratamientos, La Montaña, Tlba.

TRATAMIENTO	SUMI- NISTRO B I	B I RE- CUPERADAS CULTIVOS	B I REC. PODA	TOTAL B I	INCREMENTO SOBRE CONTROL	EFI- CIEN- CIA
CONTROL -N	108	109.3		109.3	---	---
CONTROL +N	108	147.6		147.6	---	---
MULCH ERY -N	377	187.2		187.2	78.0	20.7
MULCH ERY +N	377	205		205	57.4	15.2
ESTIERC -N	455	165.9		165.9	56.6	12.4
ESTIERC +N	455	202		202	54.4	12.0
MULCH GME -N	471	158.6		158.6	49.3	10.5
MULCH GME +N	471	178.3		178.3	30.7	6.5
MULCH GLI -N	321	154.8		154.8	45.5	14.2
MULCH GLI +N	321	175.9		175.9	28.3	8.8
CALLEJ ERY -N	240	185.1	132.0	317	207.7	86.5
CALLEJ ERY +N	191	211.2	83.2	294.4	146.8	77.0
CALLEJ GLI -N	360	166.9	193.2	360.1	250.8	69.7
CALLEJ GLI +N	418	178.4	239.6	418	270.4	64.7

CUADRO 20. Comparaciones por contrastes para el total de nutrimentos recuperados en los sistemas productivos de La Montaña, Turrialba.

<u>COMPARACIONES SIMPLES</u>	N	P	K+CA+MG
	-----kg/ha/año-----		
SIN N vs CON N	173/195*	21/22	215/232
ENMIEN. vs CALLEJONES	141/307**	19/31**	178/363**
CONTROL vs ENMIEN.	104/141*	14/19**	128/178*
CONTROL vs CALLEJONES	104/307**	14/31**	128/363**
CALLEJONES vs MULCH	307/140**	31/19**	363/177**
CALLE-ERY vs CALLE-GLI	297/316	31/31	350/363
CONTROL vs RESTO	104/224**	14/25**	128/271**
INTERACCIONES	N	P	K+CA+MG
	-----kg/ha/año-----		
CONTROL vs RESTO*N	84/217	13/25	109/268
SIN N vs CON N	124/230	15/25	147/274
ENMIEN. vs CALLE*N	125/310	18/32	166/369
SIN N vs CON N	156/363	19/30	190/357
CONTROL vs ENMIEN.*N	84/125	13/18	109/166
SIN N vs CON N	124/156	15/19	147/190
CONTROL vs CALLE*N	84/310	13/32	109/369
SIN N vs CON N	124/303	15/30	147/357
CALLE vs MULCH*N	310/125	32/18	369/167
SIN N vs CON N	303/163	30/19	357/186
CALLE-GL vs CALLE-ER*N	300/320*	31/33	365/373
SIN N vs CON N	333/274	31/29	389/326

\* P < 0.05 ; \*\* P < 0.05

## 10. Balance de nutrimentos por tratamiento.

## 10.1 Control.

El control, cuando no se aplicó nitrógeno como fertilizante presentó un balance negativo para nitrógeno y calcio. El resto de los balances fueron positivos. Estos resultados difieren cuando se aplicó fertilizante nitrogenado, ya que el balance de nitrógeno fué positivo (con una diferencia de  $131 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ ), pero el calcio permaneció con balance negativo ( $p < 0.01$ ; Cuadro 21).

CUADRO 21. Balances de nutrimentos en el tratamiento control.  
 Dos niveles de N, m media de 9 años, Kg/Ha/año  
 La Montaña, Turrialba.

ENTRADAS/ SALIDAS	SIN N					CON N				
	N	P	K	CA	MG	N	P	K	CA	MG
LLUVIA	5	0.2	2.5	1.4	1.05	5	0.2	2.5	1.4	1.05
FERTILIZANT	0	38.4	108	0	6.66	150	38.4	108	0	6.66
ENTRADAS	5	38.6	110.5	1.4	7.71	155	38.6	110.5	1.4	7.71
COSECHA	40.59	7.1	29.3	6.07	5.3	59.6	8.8	37.8	7.5	7.1
SALIDAS	40.59	7.1	29.3	6.07	5.3	59.6	8.8	37.8	7.5	7.1
BALANCE	-35.6	31.5	81.2	-4.7	2.4	95.4	29.8	72.7	-6.1	0.6

10.2 Mulch de *Erythrina*.

Este tratamiento presentó balances positivos para todos los nutrimentos, en ambos niveles de nitrógeno. El N es 82% más alto cuando se aplicó fertilizante inorgánico ( $p < 0.01$ ; Cuadro 22).

CUADRO 22. Balances de nutrimentos en el tratamiento mulch de ERYTHRINA.  
Dos niveles de N, medias de 9 años, Kg/Ha/año  
La Montaña, Turrialba.

ENTRADAS/ SALIDAS	SIN N					CON N				
	N	P	K	CA	MG	N	P	K	CA	MG
LLUVIA	5	0.2	2.5	1.4	1.05	5	0.2	2.5	1.4	1.05
ENMIENDA	229	23.2	144.6	77	47.4	229	23.2	144.6	77	47.4
FERTILIZANTE	0	38.4	108	0	6.66	150	38.4	108	0	6.66
ENTRADAS	234	61.8	255.1	78.4	55.11	384	61.8	255.1	78.4	55.11
COSECHA	62.8	11.3	46.3	9.8	8.3	71.7	11.5	48.7	11	9.1
SALIDAS	62.8	11.3	46.3	9.8	8.3	71.7	11.5	48.7	11	9.1
BALANCE	171.2	50.5	208.8	68.6	46.81	312.3	50.3	206.4	67.4	46.01

## 10.3 Estiércol.

El tratamiento con estiércol mostró balances positivos para todos los nutrimentos, no hay pérdidas en ninguno de los dos niveles de N, y cuando se aplicó N, éste nutrimento fué 2.4 veces superior ( $p < 0.01$ ; Cuadro 23).

CUADRO 23. Balances de nutrimentos en el tratamiento con estiércol.  
Dos niveles de N, medias de 9 años, Kg/Ha/año.  
La Montaña, Turrialba.

ENTRADAS/ SALIDAS	SIN N					CON N				
	N	P	K	CA	MG	N	P	K	CA	MG
LLUVIA	5	0.2	2.5	1.4	1.05	5	0.2	2.5	1.4	1.05
ENMIENDAS	154.6	26.8	139.6	99.8	52.6	154.6	26.8	139.6	99.8	52.6
FERTILIZANTE	0	38.4	108	0	6.66	150	38.4	108	0	6.66
ENTRADAS	159.6	65.4	250.1	101.2	60.31	309.6	65.4	250.1	101.2	60.31
COSECHA	60.3	11	46.3	10.6	8.66	74	11.6	50.8	10	9.7
SALIDAS	60.3	11	46.3	10.6	8.66	74	11.6	50.8	10	9.7
BALANCE	99.3	54.4	203.8	90.6	51.65	235.6	53.8	199.3	91.2	50.61



10.4 Mulch de *Gmelina*.

Este tratamiento mostró sólo balances positivos. Los balances fueron similares para ambos niveles de N, excepto el nitrógeno que duplicó la cantidad promedio cuando se aplicó N inorgánico ( $p < 0.01$ ; Cuadro 24).

Cuadro 24. Balances de nutrimentos en el tratamiento mulch de GMELINA.  
Dos niveles de N, medias de 9 años, Kg/Ha/año.  
La Montaña, Turrialba.

ENTRADAS/ SALIDAS	SIN N					CON N				
	N	P	K	CA	MG	N	P	K	CA	MG
LLUVIA	5	0.2	2.5	1.4	1.05	5	0.2	2.5	1.4	1.05
ENMIENDA	188.4	25.2	145.8	162	55.2	188.4	25.2	145.8	162	55.2
FERTILIZANTE	0	38.4	108	0	6.66	150	38.4	108	0	6.66
ENTRADAS	193.4	63.8	256.3	163.4	62.91	343.4	63.8	256.3	163.4	62.91
COSECHA	55.79	9.68	43	8.36	7.86	68.9	10.85	45	9.03	9.1
SALIDAS	55.79	9.68	43	8.36	7.86	68.9	10.85	45	9.03	9.1
BALANCE	137.6	54.1	213.3	155	55.05	274.5	52.95	211.3	154.4	53.81

10.5 Mulch de *Gliricidia*.

Al igual que el resto de las enmiendas, el tratamiento mulch de *Gliricidia* sólo presentó balances positivos y similares entre ambos niveles de N, el balance de nitrógeno es mayor cuando se aplicó fertilizante inorgánico nitrogenado ( $p < 0.01$ ; Cuadro 25).

CUADRO 25. Balances de nutrimentos en el tratamiento mulch de GLIRICID  
Dos niveles de N, medias de 9 años, Kg/Ha/año.  
La Montaña, Turrialba.

ENTRADAS/ SALIDAS	SIN N					CONN				
	N	P	K	CA	MG	N	P	K	CA	MG
LLUVIA	5	0.2	2.5	1.4	1.05	5	0.2	2.5	1.4	1.05
ENMIENDA	249.4	17.6	118.4	73	21.6	249.4	17.6	118.4	73	21.6
FERTILIZANTE	0	38.4	108	0	6.66	150	38.4	108	0	6.66
ENTRADAS	254.4	56.2	228.9	74.4	29.31	404.4	56.2	228.9	74.4	29.31
COSECHA	55.18	9.5	41.68	8.16	8.04	68.5	9.63	42.88	8.39	9.19
SALIDAS	55.18	9.5	41.68	8.16	8.04	68.5	9.63	42.88	8.39	9.19
BALANCE	199.2	46.7	187.2	66.24	21.27	335.9	46.57	186	66.01	20.12

10.6 Callejones de *Erythrina*.

En el caso donde no se aplicó fertilizante nitrogenado, el balance para nitrógeno resultó negativo, pero cuando se aplicó fertilizante el balance de N resultó positivo, con una diferencia de 149 kg N ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>. El resto de los nutrimentos resultaron con balances negativos (Cuadro 26).

CUADRO 26. Balances de nutrimentos en el tratamiento callejones de ERYTHRINA  
Dos niveles de N, medias de 9 años, Kg/Ha/año.  
La Montaña, Turrialba.

ENTRADAS/ SALIDAS	SIN N					CON N				
	N	P	K	CA	MG	N	P	K	CA	MG
LLUVIA	5	0.2	2.5	1.4	1.05	5	0.2	2.5	1.4	1.05
BOMBEO	34.5	4.1	49	12	6	46	3	49	12	6
FERTILIZANTE	0	38.4	108	0	6.66	150	38.4	108	0	6.66
ENTRADAS	39.5	42.7	159.5	13.4	13.71	201	41.6	159.5	13.4	13.71
COSECHA	53.3	8.34	45.21	9.72	8.19	65.69	9.7	51.77	11.1	8.85
TRONCOS	2.32	0.34	7.2	3.2	1.06	2.6	0.4	7.1	2.5	0.8
SALIDAS	55.62	8.68	52.41	12.92	9.25	68.29	10.1	58.87	13.6	9.65
BALANCE	-16.1	34	107.1	0.48	4.46	132.7	31.5	100.6	-0.2	4.06

10.7 Callejones de *Gliricidia*.

Los balances fueron negativos para nitrógeno cuando no se aplicó fertilizante, y positivos para el resto de nutrimentos. El N tuvo balance positivo cuando se aplicó N inorgánico, con una diferencia de  $161 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  (Cuadro 27).

CUADRO 27. Balances de nutrimentos en el tratamiento callejones de GLIRICIDIA  
Dos niveles de N, medias de 9 años, Kg/Ha/Año.  
La Montaña, Turrialba.

ENTRADAS/ SALIDAS	SIN N					CON N				
	N	P	K	CA	MG	N	P	K	CA	MG
LLUVIA	5	0.2	2.5	1.4	1.05	5	0.2	2.5	1.4	1.05
BOMBEO	20.1	4.2	49	12	3	42	2.7	49	12	3
FERTILIZANTE	0	38.4	108	0	6.66	150	38.4	108	0	6.66
ENTRADAS	25.1	42.8	159.5	13.4	10.71	197	41.3	159.5	13.4	10.71
COSECHA	51.55	8.38	38.21	9.05	6.85	59.87	9.06	43.12	8.5	7.42
TRONCOS	2.5	0.17	2	2.6	0.5	2.7	0.2	2	2.7	0.6
SALIDAS	54.05	8.55	40.21	11.65	7.35	62.57	9.26	45.12	11.2	8.02
BALANCE	-28.9	34.3	119.3	1.75	3.36	134.4	32.04	114.4	2.2	2.69

#### 10.8. Discusión sobre los balances.

Balances negativos significan que existen mayores egresos que ingresos al sistema, y que las exportaciones están siendo suplementadas por el pool del suelo. Los resultados encontrados muestran que en general, las enmiendas tuvieron solo balances positivos; los callejones y el control tuvieron balances negativos de N cuando no se aplicó fertilizante nitrogenado. Cuando se aplicó este nutrimento entonces el nitrógeno pasó de negativo a positivo. El control tuvo además balances negativos para el Calcio, en ambos niveles de N.

Los balances negativos de N en los tratamientos control y callejones en el nivel sin N, significan que el N aplicado en forma inorgánica está supliendo una parte importante del N absorbido por los cultivos. De no aplicarse, es extraído del suelo. El control extrae en promedio  $36 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ , en tanto que los callejones extraen una cantidad menor, con *Erythrina*  $16 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  y con *Gliricidia*  $29 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ . Tomando en consideración las cantidades recirculadas y las extraídas en estos sistemas, para el control sin N las pérdidas pueden corresponder a las deficiencias observadas y manifestadas en los bajos rendimientos. Para los callejones las pérdidas de N pueden representar un riesgo menor para el sistema, ya que recirculan mayor cantidad de N y sus balances son menos negativos que los del control.

Los mejores balances de N lo presentaron los tratamientos con mulch de *Erythrina* y *Gliricidia*, seguidos por el estiércol, mulch de *Gmelina*, los callejones y el control ( $p < 0.05$ ).

Los balances positivos de fósforo coinciden con la alta disponibilidad del P para todos los tratamientos, ya que como se vió no hubieron deficiencias para este macronutriente. Los mejores balances de P fueron observados en el estiércol, mulch de *Gmelina* y mulch de *Erythrina*, seguidos por el mulch de *Gliricidia*, los callejones y el control.

Los balances de potasio fueron mejores para el mulch de *Gmelina*, estiércol y mulch de *Gliricidia*, más bajos para el mulch de *Erythrina*, por su alta exportación de K vía grano. Los balances más bajos fueron los de callejones y el control, pero ningún tratamiento observó déficits de K. Esta tendencia se refleja en la dinámica del K en los primeros 40 cm. del suelo, en donde en general, los tratamientnos con enmiendas y los callejones mostraron incrementos del K intercambiable a través del tiempo.

Los altos aporte de nutrimentos por las enmiendas y el bombeo de nutrimentos permite mantener los balances positivos. De considerar cierta cantidad de nutrimentos lixiviados, podrían ocurrir pérdidas de Ca y Mg en los callejones, pero estas serían poco significativas como se demuestra en la dinámica del suelo. A largo plazo esto podría redundar en mayor acidéz del suelo. Sin embargo, dado que los suelos de La Montaña son muy fértiles, estos posibles balances deficitarios, aún los del control no representarían un verdadero problema. Ambos, déficits y ganancias en los balances, no se reflejaron en la dinámica de los nutrimentos en el suelo.

Los balances de Ca y Mg son más altos en el tratamiento con mulch de *Gmelina*, lo que coincide con Sánchez et al. (1985) quien

propuso que *Gmelina* actúa como acumulador de calcio en suelos ácidos, favoreciendo la capacidad de intercambio catiónico y por ende la disponibilidad de otros elementos como el fósforo.

Altos balances de Ca presentaron también los tratamientos con mulch de *Gliricidia* y *Erythrina*; y para Mg el tratamiento con estiércol. Las pérdidas y ganancias de Ca y Mg no se reflejan significativamente en la dinámica del suelo.

Los balances positivos en los tratamientos con enmiendas y callejones se deben al aporte significativo de nutrimentos por las enmiendas y al efecto recirculante de nutrimentos por los árboles. No obstante que en los tratamietos con enmiendas tienen mayor exportación de nutrimentos por medio del grano, mantienen sus balances sin pérdidas para el sistema, pero están siendo subvencionados por otros sistemas de donde se importan la hojarasca y el estiércol.

## 11. Cambios en el suelo.

### 11.1. Nitrógeno.

Se encontró significancia para los efectos de tratamiento y año, pero no para el N inorgánico ( $P < 0.01$ ). Hubo interacción significativa entre tratamiento y los años ( $p < 0.05$ ). El tratamiento cultivo en callejones de *Erythrina* presentó la mayor cantidad de N en los primeros 40 cm. del suelo. Le siguen el mulch de *Gliricidia* y el estiércol. Los tratamientos control, mulch de *Gmelina*, callejones de *Gliricidia* y mulch de *Erythrina* fueron los más bajos

(Fig. 13). Se realizó un análisis de covarianza con la variable nitrógeno inicial, pero su efecto no fué significativo ( $P > 0.05$ ; anexo Cuadro 4).



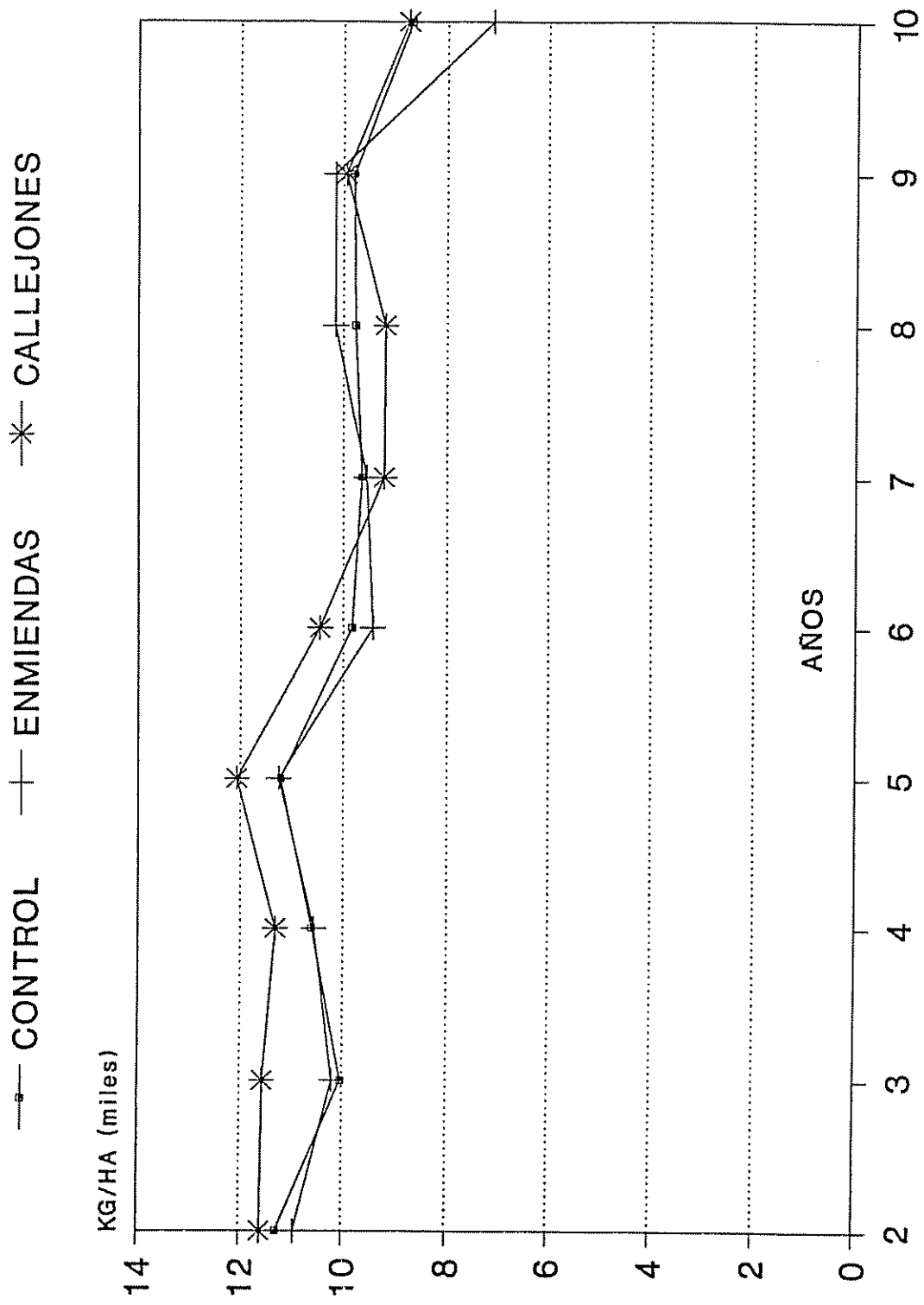


Fig. 13. Dinámica del nitrógeno en el suelo 0-40 cm. La Montaña, Turrialba.

### 11.2. Fósforo.

Unicamente el efecto de año fué significativo para las cantidades de fósforo disponible en los primeros 40 cm. del suelo, no fueron significativos los tratamientos ni el N aplicado como fertilizante ( $P < 0.01$ ). Se observó una variación fuerte entre los contenidos de P disponible entre años, con un C.V de 34% (Fig. 14; anexo Cuadro 4).

### 11.3. Potasio.

El análisis para el potasio mostró diferencias significativas para los tratamientos, el nitrógeno aplicado y los años del experimento. En general, el mulch de poró y el tratamiento con estiércol presentaron las mayores cantidades de K intercambiable en los primeros 40 cm. del suelo; intermedios fueron los tratamientos restantes, excepto el control que presentó las cantidades más bajas de K (Fig. 15; Anexo Cuadro 4).

El nitrógeno aplicado afectó las cantidades de potasio del suelo, observándose menor cantidad de K cuando se aplicó N ( $P < 0.05$ ).

### 11.4. Calcio.

El calcio intercambiable se vió afectado ( $P < 0.01$ ) por el N aplicado y por el tiempo, los tratamientos resultaron estadísticamente iguales. La aplicación de N resultó en pérdidas de Ca para el suelo (Fig. 16; Anexo Cuadro 4).

### 11.5. Magnesio.

Los tratamientos no afectaron la cantidad de magnesio en el suelo, en tanto que el N aplicado y el año fueron significativos para ésta variable ( $P < 0.01$ ). Menores cantidades de Mg intercambiable se encontraron en los primeros 40 cm. de suelo cuando se aplicó N (Fig. 17; Anexo Cuadro 4).

### 11.6. Discusión sobre cambios en el suelo.

Los más bajos contenidos de N total del suelo de los tratamientos mulch de *Erythrina* y callejones de *Gliricidia* pueden corresponder a los altos rendimientos de maíz-frijol y frijol respectivamente.

La aplicación de fertilizante nitrogenado no afecta la cantidad de nitrógeno total, tampoco afecta al fósforo disponible, sin embargo sí afecta la cantidad de bases intercambiables, ya que una aplicación de N induce a mayores rendimientos y con ello, mayores salidas de K, Ca y Mg del sistema.

A lo largo de los años del experimento, se observaron altibajos en los contenidos de los diferentes nutrimentos, debido quizá a la respuesta de la dinámica de los nutrimentos al efecto de la precipitación de cada año, con aumentos de precipitación se observan incrementos del N total del suelo en los primeros 40 cm. En el caso de las bases intercambiables además del efecto de precipitación, son importantes las exportaciones del sistema vía grano. En todos los casos la variación entre años es relativamente baja, pero para el fósforo es mayor.

El análisis de regresión no muestra coeficientes altos para

demostrar cambios significativos en los nutrimentos del suelo ( $P < 0.01$ ;  $R^2 = 13\%$ ), lo que indica que los contenidos de nutrimentos en el suelo (N total, P disponible y Ca y Mg intercambiables) se mantienen a lo largo del tiempo. Sin embargo el potasio parece tener una tendencia de incremento, especialmente en los tratamientos con enmiendas orgánicas y los callejones, lo que coincide con sus balances positivos para el potasio, sin embargo los balances positivos de N, P, Ca y Mg no se reflejan en la dinámica del suelo a lo largo de diez años de experimentación, debido quizá a que se requieren pruebas de laboratorio más sensibles que puedan detectar cambios a este nivel y estudios de la descomposición y mineralización de la materia orgánica así como del comportamiento de liberación de cada uno de los elementos.

Los balances negativos de N, Ca y Mg de cultivos en callejones podrían corresponder a pérdidas en el suelo. Sin embargo el callejón de *Erythrina* en los primeros 40 cm. del suelo tiene mayor contenido de N que el resto de tratamientos, lo que puede explicarse por la existencia de entradas no cuantificadas al sistema como la fijación simbiótica de N, o bien por las distintas formas cuantificadas de nutrimentos en cada compartimento del sistema que no permiten detectar diferencias a este nivel.

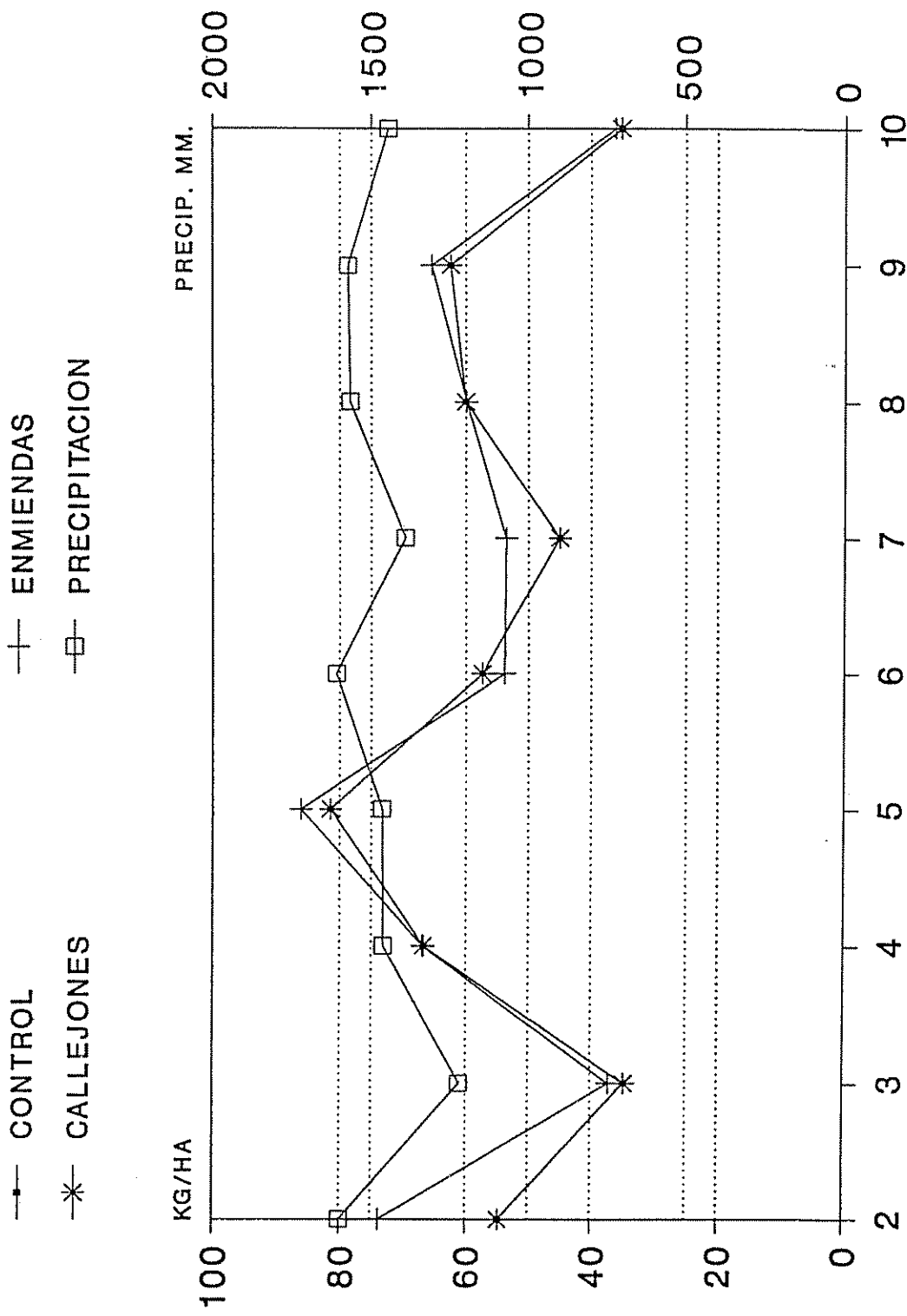


FIG. 14. Dinámica del fósforo en el suelo 0-40 Cm. La Montaña, Tlba.

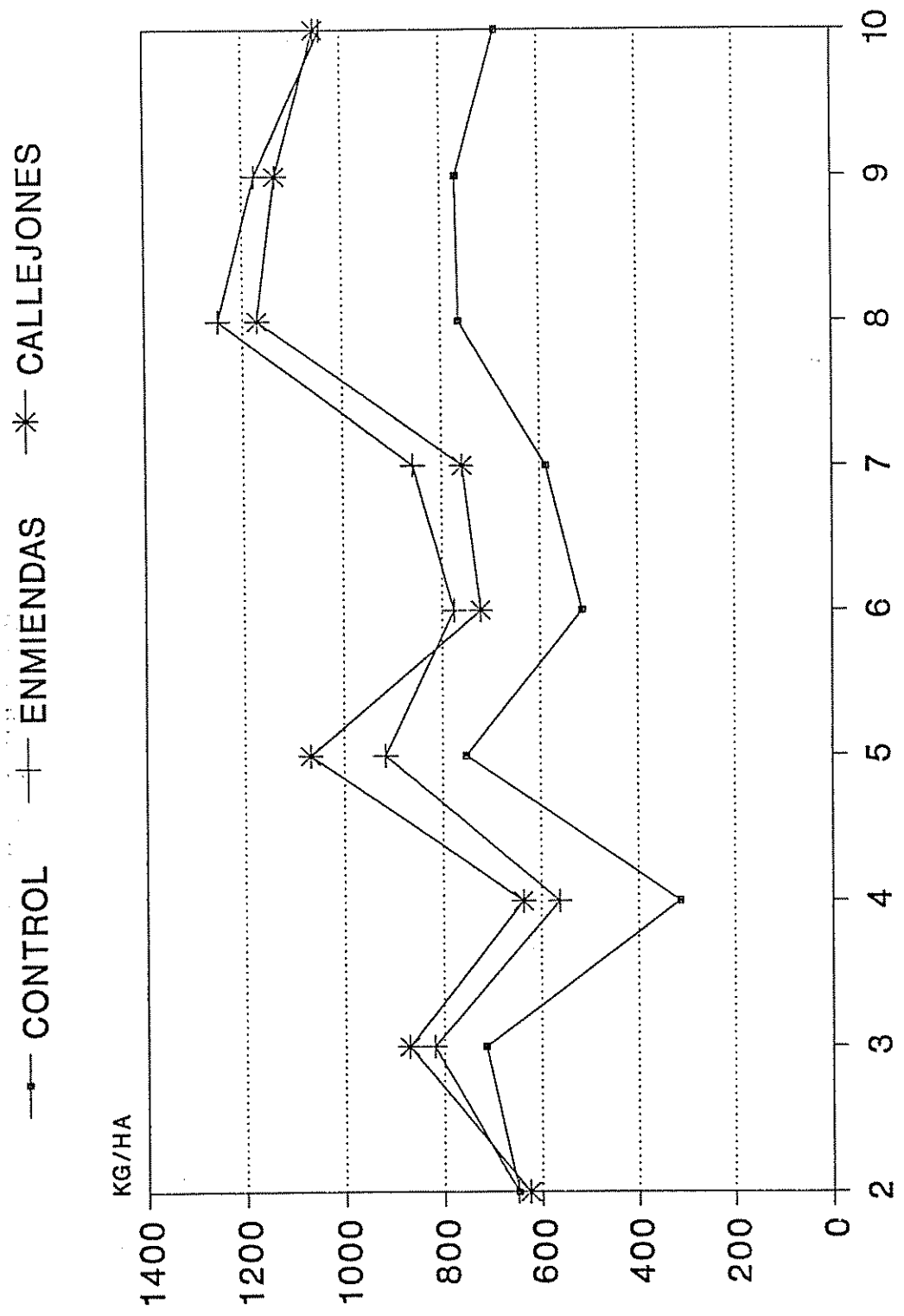


FIG. 15. Dinámica del potasio intercambiable en el suelo 0-40 Cm. La Montaña, Tlba.

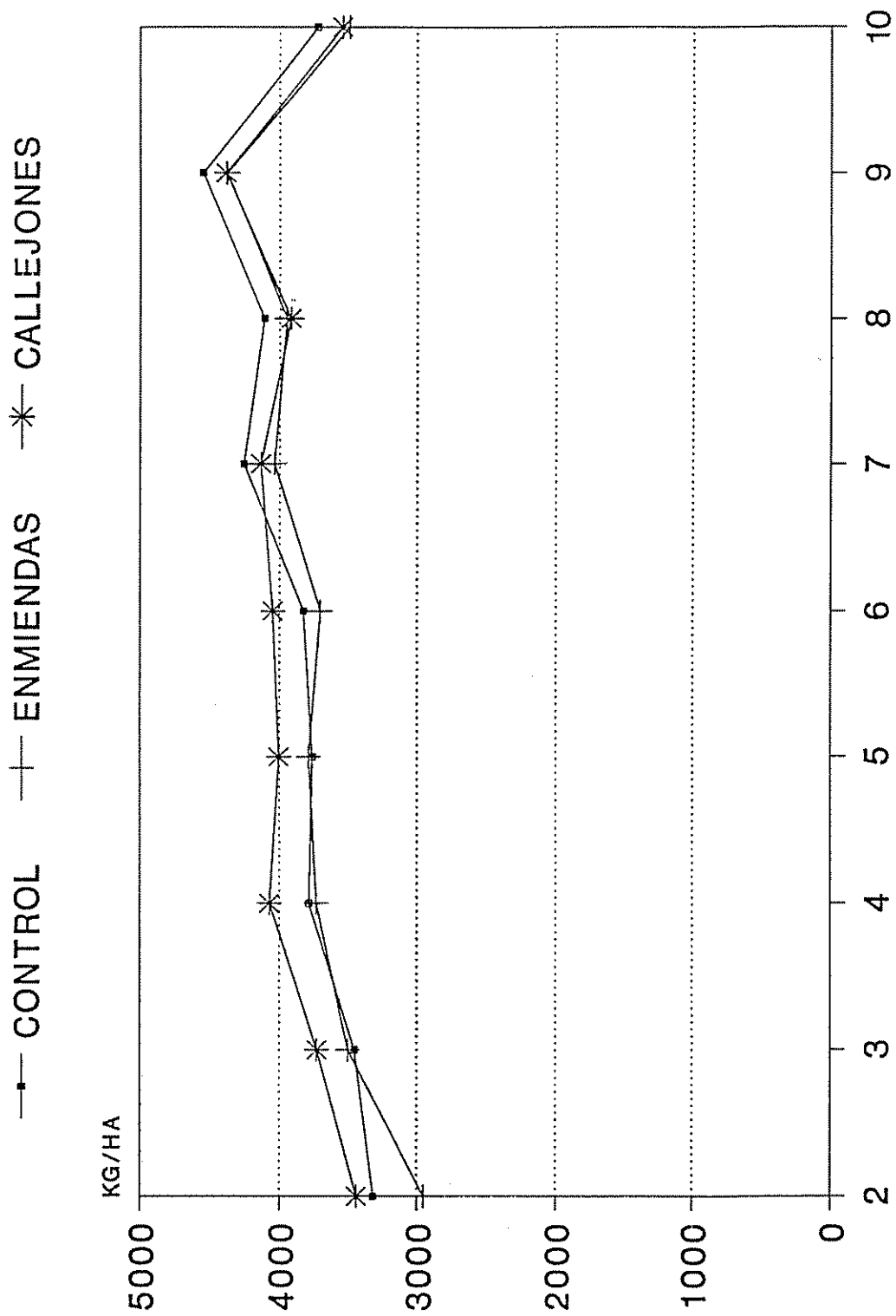


FIG. 16. Dinámica del Calcio intercambiable en el suelo 0-40 Cm. La Montaña, Tlba.

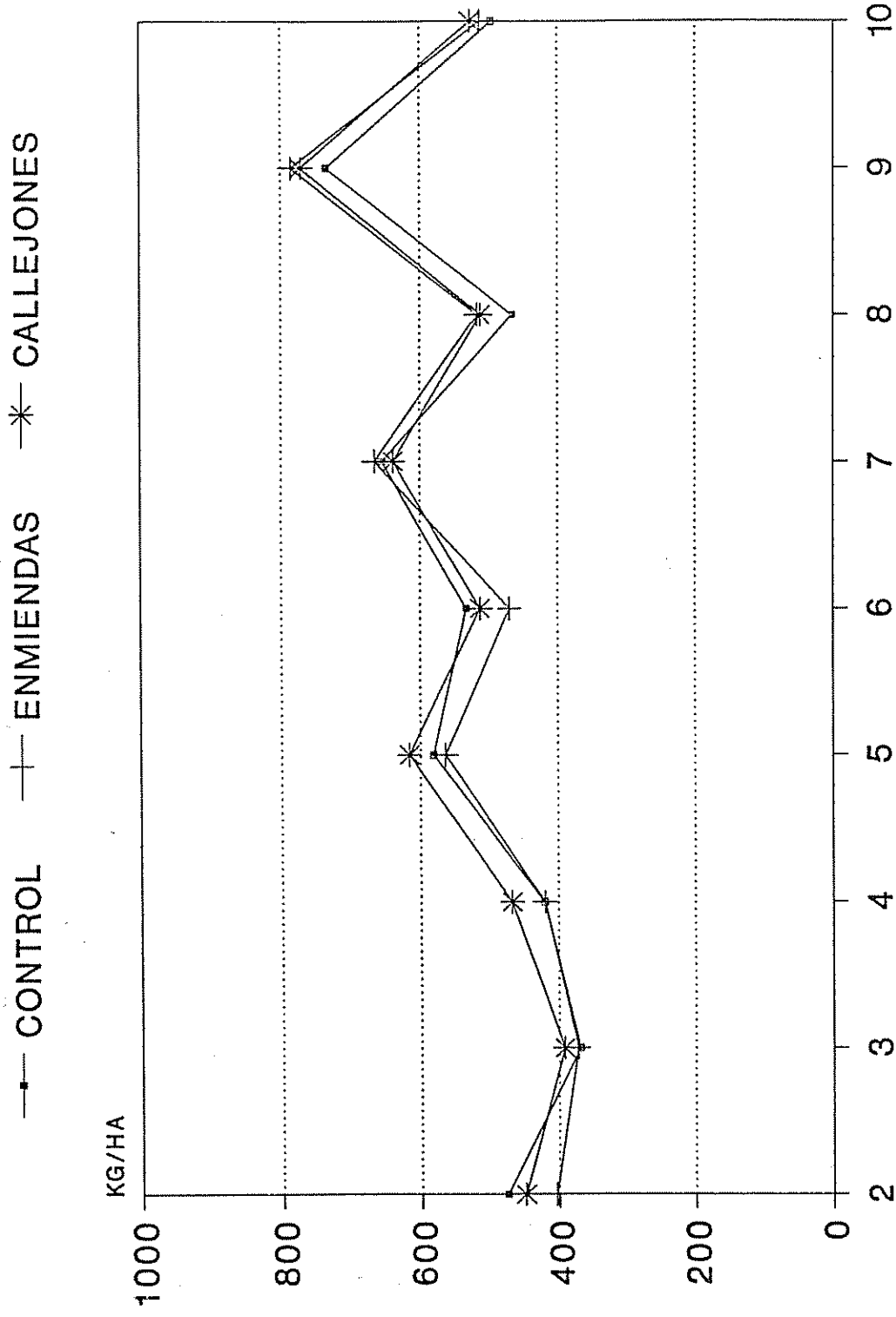


FIG. 17. Dinámica del Magnesio Intercambiable en el suelo 0-40 Cm. La Montaña, Tlba.



## V. DISCUSION GENERAL

Los resultados muestran que en general los tratamientos con callejones y con enmiendas tienen una mayor capacidad de absorción que el control. Esta mayor absorción redunda en mayores rendimientos de maíz y frijol en los tratamientos con enmiendas, y de frijol en los callejones. Los más bajos rendimientos de maíz con respecto a las enmiendas es debido probablemente a una limitación durante el proceso de llenado de grano por competencia con los árboles, principalmente por luz, como se pudo comprobar por la baja eficiencia de traslocación que presentó el maíz en los callejones.

Los sistemas con cultivos en callejones garantizan la recirculación de nutrimentos, absorbiendo y devolviendo por medio de la hojarasca arbórea y biomasa de cultivos anuales cantidades considerables de nutrimentos, reduciendo en cierta medida la posibilidad de pérdidas por lixiviación. No se observan deficiencias de nutrimentos en los cultivos en callejones, el maíz y el frijol están absorbiendo cantidades adecuadas en sus tejidos para su desarrollo, por el contrario, parecen existir excedentes de materia orgánica que no es eficientemente aprovechada para producción de grano. Esto hace sugerir que el material excedente de las podas podría ser exportado a otros sistemas productivos como pueden ser los sistemas pecuarios, para utilizarse en forma de forraje. Asimismo es posible también la búsqueda de otros genotipos de maíz más eficientes o la utilización de otra leguminosa de ciclo corto que aproveche las condiciones generadas por los callejones para hacerlos económicamente más atractivos.

El uso de enmiendas orgánicas genera condiciones óptimas para efectuar una utilización más eficiente de los recursos propios del suelo, así como aquellos incorporados como insumos al sistema productivo. La materia orgánica derivada de las enmiendas coadyuva en la mejor utilización de los fertilizantes inorgánicos aplicados, lo que redunda en un beneficio económico indirecto.

El control presentó deficiencias de nutrimentos, lo que se reflejó en la baja eficiencia de absorción, baja eficiencia de uso y bajos rendimientos de ambos cultivos, pero es un tratamiento que requiere poca mano de obra y por lo tanto puede ser viable para campesinos con poca disponibilidad de fuerza de trabajo. Con este tratamiento no puede prescindirse de la aplicación de N inorgánico, ya que este incrementa significativamente la eficiencia de uso de nutrimentos.

## VI. CONCLUSIONES

1. Los tratamientos con enmiendas orgánicas cumplen con una alta capacidad de consumo y asimilación, alta eficiencia de traslocación, alta eficiencia de uso y producción de biomasa y grano, tanto de maíz como de frijol.
2. Los cultivos en callejones observan una alta capacidad de consumo y asimilación, alta eficiencia de uso y rendimientos de frijol y alta producción de biomasa, pero manifiestan deficiencia de traslocación de N, K y Ca en las plantas de maíz, lo que conduce a altos rendimientos de frijol, pero bajos rendimientos de maíz.
3. El control observa deficiencias de absorción y baja recirculación de nutrimentos, asociado a bajos rendimientos de maíz

y frijol, no obstante que tiene una alta eficiencia de traslocación y alta eficiencia de uso de P, K y MG.

4. En los cultivos en callejones se detecta una limitante en los procesos de transporte y almacenamiento durante el llenado de grano que puede ser debido a la competencia con los árboles, principalmente por luz.

5. El nitrógeno aplicado en forma inorgánica incrementó la biomasa, los rendimientos de frijol, la recuperación, eficiencia de absorción, eficiencia de uso, y recirculación de nutrimentos.

6. Los rendimientos (aún los más bajos), tanto de maíz como de frijol superan las medias de producción de la Provincia de Cartago y la media nacional.

7. Los tratamientos con mulch de *Erythrina*, mulch de *Gmelina*, mulch de *Gliricidia* y con estiércol presentaron balances positivos, con y sin aplicación de N inorgánico. Los callejones y el control sin nitrógeno presentaron balances negativos para N, pero cuando se aplicó N sus balances fueron positivos. El control presentó además balances negativos para calcio. Estos cambios no se reflejan en la dinámica del suelo, excepto para el potasio, que se incrementa a lo largo del tiempo en los tratamientos con enmiendas y los callejones.

8.- El control cumple con objetivos económicos porque aún cuando produce más bajos rendimientos que el resto de tratamientos requiere poca mano de obra. Los tratamientos con enmiendas y callejones son tratamientos conservativos de los recursos naturales y productivos, toda vez que mantienen el capital de nutrimentos en el suelo, transfieren significativas cantidades de N, P, K, Ca y Mg

entre compartimentos de los sistemas evitando pérdidas, mejoran la estructura del suelo y conservan la humedad en la época más seca del año. Los tratamientos con enmiendas orgánicas a pesar de que requieren mucha mano de obra, por sus altos rendimientos, satisfacen además de objetivos de conservación, objetivos económicos.

## VII. RECOMENDACIONES

Sería deseable probar la posibilidad de efectuar una poda de los árboles poco antes del inicio del llenado de grano de maíz (Septiembre), esta prueba debería estar aparejada con un estudio económico para analizar las ventajas o desventajas que traería ésta práctica.

Sería también conveniente probar el incremento de la densidad de plantas de maíz, ya que al no existir limitación por suministro de nutrimentos, entonces los recursos aplicados y los propios del suelo serían mejor utilizados. Esta práctica podría decrementar los rendimientos por planta, pero incrementarlos por unidad de área, lo que podría resultar en una mejor eficiencia de uso y mejores resultados económicos.

En virtud de que en los cultivos en callejones no se logra utilizar de la manera más eficiente toda la cantidad de materia orgánica producida por las podas, el material excedente en los cultivos en callejones podría exportarse a otros sistemas productivos, por ejemplo para subsidiar sistemas de producción animal usándose como forraje.

## VIII. BIBLIOGRAFIA

- AMATO, M., R. B. JACKSON, J. H. A. BUTLER y J. N. LADD. 1984. Decomposition of plant material in Australia soils II: Residual organic C<sup>14</sup> and N<sup>15</sup> from legume parts decomposing under field and laboratory conditions. Aust. J. Soil Res. 22: 331-341.
- ARAYA, S., KASS, D., BEER, J., DIAZ-ROMEY, R. 1986. Efecto de madero negro (*Gliricidia sepium* L. (Jaq.) Steud. en un sistema maíz-frijol en Acosta Puriscal, San José. Turrialba, Costa Rica. CATIE. 11p.
- ARNON, I. 1975. Mineral nutrition of maize. Bern-Worblaufen, Switzerland. International Potash Institute. 452p.
- BARTHOLOMEW, W. V. Y A. E. HITBOLD. 1952. Recovery of fertilizer N by oats. Soil Sci. 73: 193-201.
- BARTHOLOMEW, W.V. 1975. El nitrógeno y la materia orgánica de los suelos. In: Drosdoff et al. eds. Suelos de las regiones tropicales húmedas. Argentina, Marymar. 271 p.
- BARTOLOMEW, W. V. Y HILTBOLD, A. E. 1952. Recovery of fertilizer N by oats. Soil Sci. 73 : 193-201
- BAVER, L.D. 1973. Física de Suelos; Trad. de la 4 Ed. inglesa por J.M. Rodríguez. México. Uthea. 529 p.
- BEER, J. 1988. Litter production and nutrient cycling in coffee (*Coffea arabica*) or Cacao (*Theobroma cacao*) plantations with shade trees. Agroforestry systems 7: 103-114.
- BLAIR, G. J. y O. W. BOLAND. 1978. The release of phosphorus from plant material added to soil. Aust. J. Soil Res. 16: 101-111.

- BOCK, B.R. 1984. Efficient use of nitrogen in cropping systems. In : ASA-CSSA-SSSA (Eds.) Nitrogen in crop production. ASA-CSSA-SSSA, Madison, USA: p. 273-294.
- BOULDIN, D. R. 1980. Nitrogen as a constraint to nonlegume food crop production. In: International Rice Research Institute and New York St. College of Agric. and Life Sci. Eds. Priorities for alleviating soil-related constraints to food production in the tropics. p. 107-139.
- BROUGHTON, W. J. 1977. Effect of various covers on soil fertility under *Hevea brasiliensis* and on growth of the tree. *Agro-Ecosystems*. 3: 147-170.
- BROWN, R. H. 1988. Growth of the green plant. In: M. B. TESAR. physiological basis of crop growth and development. Amer. Soc. of Agronomy. Madison, Wisconsin. 153-173.
- BRUESTSCH, T. F. Y EATES, G. O. 1976. Genotype variation in nutrient uptake efficiency in corn. *Agron. Jour.* 68: 521-523.
- BUDELMAN, A. 1988. The decomposition of the leaf mulches of *Leucaena leucocephala*, *Gliricidia sepium* and *Flemingia macrophylla* under humid tropical conditions. *Agroforestry Systems* 7(1): 33-45.
- CONTRERAS, F. M. 1991. Efecto de la cobertura muerta de *Inga densiflora* Benth. e *Inga edulis* Mart. en el crecimiento inicial de plántulas de cafeto (*Coffea arabica* cv. catuai) y maíz (*Zea mays* L.) híbrido Salvadoreño H-5). Tesis MSc. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 142 p.
- DALAL, R. C. 1970. Soil organic phosphorus. *Adv. Agr.* 29: 83-117. New York. Academic Press.

- DALTON, J. D., G. E. RUSSELL y D. H. SIELING. 1952. Effect of organic matter on available phosphorus. *Soil Sci.* 73: 172-181.
- DIAMOND, R. B., SCHYLTZ, J. J., STANGEL, P. J., TEMON, G. L. y R. C. WOOD-WORTH. 1975. Supplying fertilizer for Zaire's agricultural development. Bull. Y101. Tennessee Valley Authority. Muscle Shoals, Alabama, USA.
- DIAZ-ROMEY, R. Y A. HUNTER. 1978. Metodología de muestreo de suelos, análisis químico de suelos y tejido vegetal e investigación en invernadero. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba, Costa Rica. 68 p.
- DIMITRENKO, P.A. THOMASHEVSKAYA, Y. G., GOLOVASHCHUK, Z.T., INSSHIN, N.A., SEMONOVA, N. K., y DAN'KO, A. Y. 1977. Utilization of fertilizer nitrogen by winter wheat and sugar beet under different fertilizer application conditions. *Soviet Soil Sci.* 9: 540-551.
- EWEL, J. J. 1986. Designing agricultural ecosystems for the humid tropics. *Ann. Rev. Ecol. Syst.* 17: 245-271.
- FASSBENDER, H. W. 1987. Modelos edafológicos de sistemas agroforestales. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE, Turrialba. 475 p.
- FERNANDES, E.C.M. 1990. Alley cropping on acid soils. Ph.D. Department of Soil Science. North Carolina State University. Raleigh, NC. 157 p.
- GICHURU, M. P. y B. T. KANG. 1989. *Calliandra calothyrsus* (Meissn.) in an alley cropping system with sequentially cropped maize and cowpea in southeastern Nigeria. *Agroforestry Systems* 9: 191-203.

- GUEVARA, C. 1976. Management of *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit for maximum yield and nitrogen contribution to intercropped corn. Tesis, Ph.D. Honolulu, University of Hawaii. 126 p.
- GUPTA, J. P. Y RAO, A. V. 1989. Effect of mulching on nodulation, nitrogenase activity, growth and yield of greengram (*Vigna radiata*) and cowpea (*Vigna unguiculata* subsp. *cylindrica*) Indian Jour. of Agricultural Science. 59 (3): 181-182.
- GUTTERIDGE, R. C. 1985. Alley cropping leucaena with Kenaf (*Hibiscus cannabifolius*). *Leucaena Research Reports* 6: 1-2.
- HAGGAR, J. 1990. Nitrogen and Phosphorus dynamics fo systems integrating trees and annual crops. Ph.D. dissertation. St Johns College. University of Cambridge. 160 p.
- HAGGAR, J. P., G. P. WARREN, J. W. BEER, y D. KASS. 1991. Phosphorus availability under alley cropping and mulched and unmulched sole cropping systems in Costa Rica. *Plant and Soil* 137: 275-283.
- HAMID, A. 1972. Efficiency of N uptake by wheat as affected by time and rate of application using  $N^{15}$  labelled ammonium sulphate and sodium nitrate. *Plant and Soil* 37: 389-340.
- HAMID, A. 1972. Efficiency of N uptake by wheat as affected by time and rate of application using  $N^{15}$  labelled ammonium sulphate and sodium nitrate. *Plant and Soil* 37: 329-340.
- HANWAY, J. J. 1962. Corn growth and composition in relation to soil fertility: II. Uptake of N, P and K and their distribution in different plant parts during the growing season. *Agronon. Jour.* 54: 217-222.



- HAWKINS, R., H. SEMBIRING, D. LUBIS SUWARDJO. 1990. The potential of alley cropping in the uplands of East and Central Java. Agency for Agricultural Research and Development. 71 p.
- HENDRY, C. D., C. W. BERISH, E. S. EDGERTON. 1984. Precipitation chemistry at Turrialba, Costa Rica. Water Resources Research. Vol. 20 (11): 1677-1684.
- HERNANDEZ, I., D.L. KASS, Y. CAMACHO. 1992. Economic evaluation of alley farming maize-beans/*Erythrina poeppigiana* in Costa Rica, Central America. Presentado en la Conferencia Internacional sobre Cultivo en Callejones. IITA, Ibadán, Nigeria, del 14 al 18 de Sept. de 1992. 17 p.
- HOLDRIGE, L. 1987. Ecología basada en zonas de vida. San José Costa Rica. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. 216 p.
- HUCKLESBY, D. P. C., M. BROWN, S. E. HOWELL Y R. H. HAGEMAN. 1971. Late spring applications of nitrogen for efficient utilization and enhanced production of grain protein of wheat. Agron. J. 63: 274-276.
- HUFFAKER, R. C. y D. W. RAINS. 1978. Factors influencing nitrate acquisition by plants; assimilation and fate of reduced nitrogen. In: NIELSON, D. R. and MCDONALD, J.G. (eds.). Nitrogen in the Environment. Vol. 2, pp. 1-43. Academic Press.
- INTERNATIONAL INSTITUTE OF TROPICAL AGRICULTURE. 1980. Annual Report. Alley Cropping. IITA, Ibadan, Nigeria. 27-33.
- INTERNATIONAL INSTITUTE OF TROPICAL AGRICULTURE. 1982. Annual Report. Agroforestry. IITA, Ibadan, Nigeria. p. 153-154.

- INTERNATIONAL INSTITUTE OF TROPICAL AGRICULTURE. 1983. Annual Report. Alley cropping. IITA, Ibadan, Nigeria. p. 176-184.
- INTERNATIONAL INSTITUTE OF TROPICAL AGRICULTURE. 1989. Resource and crop management program. Annual Report, 1987. International Institute of Tropical Agriculture. Ibadan, Nigeria. 220 p.
- JANSEN, B.H., F.C.T. GUIKING, R. CATALAN. 1990. Quantitative evaluation of soil fertility. A computer aided course on QUEFTS. Wageningen, Holanda. Wageningen Agricultural University. 42 p.
- JOACHIM, A.W.R. 1931. The principles of green manuring and their application in Ceylon. Trop. Agriculturalist (Sri Lanka) 76: 4-32 p.
- JORDAN, H. V., K. D. LAIRD, Y D.D. FERGUSON. 1950. Growth rates and nutrient uptake by corn in a fertilizer-spacing experiment. Agron. Jour. 42 (6): 261-268.
- KANG, B. T. y G. F. WILSON. 1987. The development of alley cropping as a promising agroforestry technology. In: H.A. Steppeler y P.K.R. Nair (Eds.). Agroforestry a decade of development. International Council for Research in Agroforestry. Nairobi. p. 227-244.
- KANG, B. T. Y K. MULONGOY. 1987. Gliricidia sepium as a source of green manure in an alley cropping system. In: Improvement. Proceedings of a work-shop sponsored by the NFTA and CATIE. Glover, N. y Brewbaker, J. L. Ed. NFTA Spec. Pub. 87-01: 44-49.

- KANG, B. T., G. T. WILSON, y L. SIPKENS. 1981. Alley cropping sequentially cropped maize and cowpea with *Leucaena* on a sandy soil in southern Nigeria. *Plant and Soil* 85: 267-277.
- KANG, B. T., GRIME, H., LAWSON, T. L. 1985. Alley cropping sequentially cropped maize and cowpea with *Leucaena* on a sandy soil in Southern Nigeria. *Plant and Soil* 85: 267-277.
- KANG, B.T., REYNOLDS, L., ATTA-KRAH, A.N. 1990. Alley farming. *Advances in Agronomy* 43: 315-359.
- KASS, D. 1987. Alley cropping of annual food crops with woody legumes in costa Rica. In: BEER, J. y H. W. J FASSBENDER. *Advances in agroforestry research. Proceedings. Turrialba Costa Rica, CATIE, Serie técnica. Informe Técnico 117. p. 197-208.*
- KASS, D. L. HERNANDEZ, I. y L. T. SZOTT. 1991. Plant nutrient management for sustainable agriculture. A ser publicado por *Agroforestry Systems*. En prensa.
- KASS, D. L. Y J. F. ARAYA. 1987. Alley cropping with *Gliricidia sepium* (Jacq.) Steud. on farmers fields in Costa Rica. In: *Gliricidia sepium* management and improvement. Nitrogen Fixing Tree Association Spec. Publ. 87-01: 50-58.
- KASS, D. L., M. JIMENEZ, M. 1986. Effect of applying prunnings of *Gliricidia sepium* to maize and beans on an Oxic Dystropept in San Carlos, Costa Rica. *Nitrogen Fixing Tree Research Reports* 4: 11-12.
- KASS, D. L.; JIMENEZ, M. Y Y. CAMACHO. 1987. Second year results of alley cropping with *Gliricidia sepium* (Jacq.) Steud. on an

- Oxic Dystropept in San Carlos, Costa Rica. Nitrogen Fixing Tree Research Reports 5: 42-43.
- KASS, D., & DIAZ-ROMEU. 1986. Effect of prunnings of woody legumes on nutrient losses in sustained crop production on a typic humitropept (humic cambisol). XIII Congress of the International Soil Science Society. Hamburgo, Alemania. Vol. 3: 801-802.
- KASS, D., BARRANTES, A., BERMUDEZ, W. CAMPOS, W., JIMENEZ, N., y SANCHEZ, J. 1989. Resultado de seis años de investigación de cultivo en callejones (alley cropping) en "La Montaña", Turrialba Costa Rica. El Chasqui (Costa Rica) 19: 5-24.
- KASS, D., E. BUSTAMANTE y W. BERMUDEZ. 1987. Efecto de cultivo en callejones (Alley cropping) con *Gliricidia sepium* (Jacq.) Steud. sobre la incidencia de pudriciones de la mazorca en maíz (*Zea mays* L.). Presentado en la XXXIII Reunión del Proyecto Cooperativo del Centro de Mejoramiento de Cultivos alimenticios, Guatemala Guat. 11 p.
- KASS, D. L., ARAYA, J.F., SANCHEZ, O.J., SOTO-PINTO, L., P., FERREIRA, P. 1992. Ten years experience with alley farming in Central America. Presentado en la Conferencia Internacional sobre Cultivo en Callejones, IITA. Ibadán, Nigeria, del 14 al 18 de Sept. de 1992. 21 p.
- LAL, R. 1989. Agroforestry systems and soil surface management on a tropical Alfisol: III. Changes in soil chemical properties. Agroforestry Systems 8: 113-132.

- LEMARE, P.H., J. PEREIRA y W. J. GOEDERT. 1987. Effects of green manures on isotopically exchangeable phosphate in a dark-red latosol in Brazil. *J. Soil. Sci.* 38: 199-209.
- LEON, E. M. 1990. Dinámica del nitrógeno en un cultivo en callejones con poró *Erythrina poeppigiana* y madero negro *Gliricidia sepium* con frijol común *Phaseolus vulgaris*. Turrialba Costa Rica, CATIE, Tesis MSc. 98 p.
- LI, G.C., R. L. MAHLER y D.O. EVERSON. 1990. Effects of plant residues and environmental factors on phosphorus availability in soils. *Commun. in Soil Sci. Plant Anal.* 21 (5&6): 471-491.
- MACKLIN, B., B. JAMA, K. RESHID, y A. GETAHUN. 1988. Results of alley cropping experiments with *Leucaena leucocephala* and *Zea mays* at the Kenya coast. *Leucaena Research Reports* 9: 61-64.
- MARUMOTO, T., J. P. E. ANDERSON y K. H. DOMSCH. 1982. Mineralization of nutrients from soil microbial biomass. *Soil Biol. Biochem.* 14: 469-475.
- MCNEAL, F. A., BERG, M. A., BROWN, P. L. AND MCGUIRRE, C. F. 1971. Productivity and quality response of five spring wheat genotypes, *Triticum aestivum* L., to nitrogen fertilizer. *Agron. J.* 63: 909-910.
- MCNEAL, F. N., M. A. BERG, P. L. BROWN y C. F. MCGUIRE. 1971. Productivity and quality response of live spring wheat genotypes, *Triticum aestivum* L. to nitrogen fertilizer. *Agron. J.* 63: 908-910.
- MILTHORPE, F. L. AND J. MOORBY. 1974. An introduction to crop physiology. Cambridge University Press. Cambridge, U.K. 202 p.

- MINISTERIO DE ECONOMIA, INDUSTRIA Y COMERCIO DE COSTA RICA. 1987. Censo Agropecuario 1984. San José Costa Rica. dirección General de Estadística y Censos. MEIC. 215 p.
- MITTAL, S.P. Y P. SINGH. 1989. Intercropping field crops between rows of *Leucaena leucocephala* under rainfed conditions in Northern India. *Agroforestry Systems* 8: 165-172.
- MOLL, R. H., KAMPRATH, E.J., Y JACKSON W.A.. 1982. Analysis and interpretation of factors which contribute to efficiency of nitrogen utilization. *Agron. Journ.* 74: 562-564.
- MULLER-DUMBOIS, D. H. Y H. ELLEMBERG. 1974. *Aims and Methods of Vegetation Ecology*. Wiley and Sons. USA.
- MULONGOY, K. y N. SANGINGA. 1990. Nitrogen contribution by *Leucaena* in alley cropping. *IITA Research* 1(1): 14-17.
- NAIR, P. K., R. 1989. Classification of agroforestry systems . In: NAIR, P.K.R. (ED.). *Agroforestry systems in the tropics*. Kluwer. Dordrecht. Holanda. p. 39-52.
- NAIR, P.K.R. 1987. Soil productivity under agroforestry. In: H. Gholz (Ed.) *Agroforestry: realities, possibilities and potentials*. Dordrecht, Netherlands. Martinus Nijhoff. p. 21mmail-30.
- NOIA R. J. A. 1977. Erosión de Suelos de pendientes cultivadas con maíz y frijol con diferentes grados de cobertura viva dentro de una plantación forestal. Turrialba Costa Rica, CATIE Tesis MSc. 182 p.
- NOVOA, R. Y LOOMIS, R.S. 1981. Nitrogen and plant production. *Plant and Soil*. 58: 177-204.

- O'SULLIVAN, T. 1985. Farming systems and soil management: The Phillipines. Australian Development Assistance Program Experience In: E.T. CRASWELL, J. V. REMEYNI Y L.G. NALLANA (Eds.). Soil Erosion Management. Aust. Centre for International Agricultural Research (ACIAR) Proceedings no. 6. ACIAR. Canberra Australia. p. 77-81.
- ONIM, J. F. M., M. MATHUVA, K. OTIENDO y H. A. FITZHUGH. 1990. Soil fertility changes and response of maize and beans to green manures of leucaena, sesbania and pigeonpeas. *Agroforestry Systems* 12 (197): 197-215.
- PALM, C. A., A. J. MCKERROW, K. M. GLASENER y L. T. SZOTT. 1989. Agroforestry in the lowland tropics: Is Phosphorus important?. In: T. López-Hernández y Salcedo (Eds.). Phosphorus cycles in terrestrial and aquatic ecosystems. Regional Workshop no. 3. South and Central America. Scientific Committee on Problems of the Environment (SCOPE) and United Nations Environmental Program. Maracay, Venezuela. p. 134-141.
- PANIAGUA, V. A. M. 1992. Metodología de fraccionamiento de fósforo del suelo, en un sistema de cultivo en callejones. Tesis MSc. CATIE, Turrialba, Costa Rica. 92 p.
- PEARMAN, I., S. M. THOMAS, y G. N, THORNE. 1977. Effects of nitrogen fertilizer on growth and yield of spring wheat. *Ann. Bot.* 41: 93-108.
- PEARMAN, I., S. M. THOMAS, y G. N, THORNE. 1978. Effects of nitrogen fertilizer on the distribution of photosynthate during growth of spring wheat. *Ann. Bot.* 42: 91-99.

- PENNING DE VRIES, F. W. T., J. KRUL, K., VAN KEULEN, H. 1980. Productivity of Sahelian rangelands in relation to the availability of nitrogen and phosphorus from the soil. In: T. ROSSWALL (Ed.) Nitrogen Cycling in West African Ecosystems. Estocolmo. SCOPE/UNEP International Nitrogen Unit. Swedish Acad. Sci. p. 95-113.
- PINO, I. 1979. Economía del nitrógeno en cultivares de trigo (*Triticum aestivum* L.) y triticales (*Triticosecale* sp.) Magister Sc. Thesis. Escuela Agronomía. Universidad Católica de Chile. Santiago. 57 p.
- QUINLAN, M. M.. 1984. Mulches from two tropical tree species *Erythrina poeppigiana* (Walp.) O.F. Cook and *Gmelina arborea* Rox. as nitrogen sources in the production of maize (*Zea mays* L.). Tesis MSc. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 67 p.
- ROJAS, A. M. 1977. Dasomería Práctica. Universidad Tolima, Ibagué, Colombia. 165 p.
- ROSKOSKI, J. 1981. Nodulation and N<sub>2</sub> fixation by *Inga jinicuil*, a woody legume in coffee plantations. Plant and Soil 59:202-206.
- RUSSO, R. 1983. Efecto de la poda de *Erythrina poeppigiana* (poró) sobre la nodulación, producción de biomasa y contenido de nitrógeno en el suelo en un sistema agroforestal "café-poró". Tesis MgSc. Turrialba, Costa Rica. CATIE. 106 p.
- RUSSO, R. O. 1983. Fijación de nitrógeno en sistemas agroforestales via arboles de uso múltiple. In: UNU/CATIE-IICATROPICOS-CONIF. Curso Corto sobre Metodologías de Investigación Agroforestal en el Trópico Húmedo. 25 de Nov. al 7 de Dic. de 1983. Cali Colombia.



- SALAZAR, A. 1990. Cultivo en callejones, algunos resultados de investigaciones en Yurimaguas, Cuenca Amazónica de Perú. Presented at meeting of Red de Investigadores de Suelos del Trópico (RISTROP), San José, Costa Rica.
- SANCHEZ, J.F. 1989. Analisis de la estabilidad y dinámica de sistemas de producción en cultivos en callejones. Tesis de maestría. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 174 p.
- SANCHEZ, P. A. 1981. Suelos del Trópico Americano: Características y manejo. San José, Costa Rica. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. 660 p.
- SANCHEZ, P.A. 1987. Soil productivity and sustainability in agroforestry systems. In STEPPLER, H. & NAIR, P.K.R. Agroforestry a decade of development. International Council for Research in Agroforestry. Nairobi, Kenya. p. 205-223.
- SANCHEZ, P.A., C.B. PALM., C. B. DAVEY, L.T. SZOTT Y C.E. RUSSELL. 1985. In: CANNEL, M.G.R. Y J.E. JACKSON. Trees as crop plants. Institute of Terrestrial Ecology. Natural Environment Research Council. pp. 327-358.
- SANFORD, D.A. VAN Y MCKOWN, C.T. 1986. Variation in nitrogen use efficiency among soft red winter wheat genotypes. Theor. Appl. Genet. 72: 158-163.
- SANFORD, D.A. VAN, GROVE, J. H., GRABAU, L.J., MACKOWN, C.T. 1986. Ethephon and nitrogen use in winter wheat. Agronomy Jour. 81 (6): 951-954.
- SAS INSTITUTE. 1989. PC DOS STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM/ STAT release 6.06.01 Cary, NC. 956 p.

- SAYRE, J. D. 1955. Mineral nutrition of corn. In: G. F. Sprague (Ed.). Corn and corn improvement. Academic Press. New York. p. 293-314.
- SHIELDS, J. T., LIVINGSTON, O.W. y HARRE, E. A. 1974. Review and analysis of the fertilizer situation in Latin America. Bull. Y-76. Tennessee Valley Authority, Muscle Shoals, Alabama, USA.
- SINGH, B. B. y J. P. JONES. 1976. Phosphorus sorption and desorption characteristics of soil as affected by organic residue. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 40: 389-394.
- SPIERTZ, J. H. J. y J. ELLEN. 1978. Effects of nitrogen on crop development and grain growth of winter wheat in relation to assimilation and utilization of assimilates and nutrients. Neth. J. Agr. Sci. 25: 210-231.
- SPRATT, E. D. y GASSER, J. K. R. 1970. Effects of fertilizer nitrogen and water supply on the distribution of dry matter and nitrogen between the different parts of wheat. Can. J. Plant Sci. 50: 613-625.
- SSEKABEMBE, C. K. 1985. Perspectives on hedgerow intercropping. Agroforestry Systems 3: 339-356.
- STEEL, R. G. D. y J. H. TORRIE. 1985. Bioestadística: Principios y procedimientos. McGrawHill, 2a. Ed., México. 622 p.
- SUAREZ DE CASTRO, F. Conservación de suelos. Buenos Aires. Salvat. 1965. 319 p.
- SZOTT, L. T. 1987. Improving the productivity of shifting cultivation in the Amazon Basin of Peru through the use of leguminous vegetation. Ph.D. Dissertation, Soil Science Department, North Carolina State University, Raleigh, NC. 168 p.

- SZOTT, L. T., E.C.M. FERNANDEZ y P.A. SANCHEZ. 1991. Soil plant interactions in agroforestry systems. *Forest Ecology and Management* 45: 127-152.
- THOMPSON, R. K., JACKSON, E. B. y GEBERT, J. R. 1975. Irrigated wheat production response to water and nitrogen fertilizer. Univ. Arizona. Agr. Exp. Sta. Tech. Bull. 229
- VILAS, B.O. 1989. Descomposición de hojarasca y mineralización del nitrógeno de la materia orgánica del suelo bajo cuatro sistemas agroforestales en Turrialba, Costa Rica. Tesis MSc. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 152 p.
- VITOUSEK, T.W., J. K., R.L. STANDFORD Jr. 1986. Nutrient cycling in moist tropical forest. *Ann. Rev. Ecol. Syst.* 17: 137-167.
- WELBANK, P. J., G. M. J. TAYLOR Y E.D. WILLIAMS. 1973. Root growth of cereal crops. Rothamsted Report for 1973. Part 2 p. 26-66.
- WELBANK, P. J., M. J. GIBB, P. J. TAYLOR Y E. D. WILLIAMS. 1973. Root growth of cereal crops. Rothamsted Report for 1973. Part 2 p. 26-66.
- YAMOAH, A., A. AGBOOLA, G.F. WILSON y K. MULONGOY. 1986. Soil properties as affected by the use of leguminous shrubs for alley cropping with maize. *Agriculture, Ecosystems and Environment.* 18: 167-177.
- YAMOAH, C. F., AGBOOLA, A., MULONGOY, K. 1986. Decomposition, nitrogen release and weed control by prunnings of selected alley cropping shrubs. *Agroforestry Systems (Holanda)* 3: 238 - 245.
- YOUNG, A. 1987. Soil productivity, soil conservation and land evaluation. *Agroforestry Systems* 5: 277-292.

YOUNG, A. 1989. Ten hypothesis for soil agroforestry research.  
Agroforestry Today 1 : 13-16.

## ANEXOS

CUADRO 1. Análisis de varianza para la biomasa total, biomasa de maíz y biomasa de frijol. Experimento La Montaña, Turrialba, Costa Rica.

FUENTE DE VAR.	G.L.	CUADRADO MEDIO					
		BIOM. TOTAL		BIOM. MAIZ		BIOM. FRIJOL	
REP	2	1.4*10 <sup>7</sup>	*	5.2*10 <sup>6</sup>		2.9*10 <sup>6</sup>	**
TRAT	6	6.2*10 <sup>7</sup>	**	32.9*10 <sup>6</sup>	**	8.6*10 <sup>6</sup>	**
REP*TRAT	12	2.8*10 <sup>6</sup>		2.8*10 <sup>6</sup>		4.2*10 <sup>5</sup>	
N	1	11.5*10 <sup>7</sup>	**	83*10 <sup>6</sup>	**	2.7*10 <sup>6</sup>	**
TRAT*N	6	4.7*10 <sup>6</sup>		5.3*10 <sup>6</sup>		3.8*10 <sup>5</sup>	
REP*TRAT (N)	14	7.9*10 <sup>6</sup>	**	5.9*10 <sup>6</sup>	*	2.5*10 <sup>5</sup>	
AÑO	8	14.9*10 <sup>7</sup>	**	50.4*10 <sup>6</sup>	**	4.6*10 <sup>7</sup>	**
TRAT*AÑO	48	6.9*10 <sup>6</sup>	**	5.5*10 <sup>6</sup>	**	7.9*10 <sup>5</sup>	**
N*AÑO	8	8.5*10 <sup>6</sup>	**	9*10 <sup>6</sup>	**	4.7*10 <sup>5</sup>	**
TRAT*N*AÑO	48	3.2*10 <sup>6</sup>		3*10 <sup>6</sup>		4.4*10 <sup>5</sup>	

\* Significativo al 5%; \*\* significativo al 1%

CUADRO 2. Análisis de varianza para los rendimientos totales, rendimientos de maíz de frijol, La Montaña, Turrialba, Costa Rica.

FUENTE DE VAR.	G.L.	CUADRADO MEDIO					
		REND. TOTAL		REND. MAIZ		REND. FRIJOL	
REP	2	2.3*10 <sup>6</sup>	**	1.0*10 <sup>6</sup>		9.6*10 <sup>5</sup>	**
TRAT	6	17.9*10 <sup>6</sup>	**	14.6*10 <sup>6</sup>	**	1.7*10 <sup>6</sup>	**
REP*TRAT	12	1.0*10 <sup>6</sup>	*	7.1*10 <sup>5</sup>	*	1.6*10 <sup>5</sup>	**
N	1	26*10 <sup>6</sup>	**	12.7*10 <sup>6</sup>	**	2.5*10 <sup>6</sup>	**
TRAT*N	6	1.3*10 <sup>6</sup>	**	1.1*10 <sup>6</sup>	**	5.4*10 <sup>4</sup>	
REP*TRAT (N)	14	5.6*10 <sup>5</sup>		4.5*10 <sup>5</sup>		4.6*10 <sup>4</sup>	
AÑO	8	23.1*10 <sup>6</sup>	**	22.3*10 <sup>6</sup>	**	5.7*10 <sup>6</sup>	**
TRAT*AÑO	48	1.5*10 <sup>6</sup>	**	1.2*10 <sup>6</sup>	**	2.1*10 <sup>5</sup>	**
N*AÑO	8	1.1*10 <sup>6</sup>	*	1.4*10 <sup>6</sup>	**	2.2*10 <sup>5</sup>	**
TRAT*N*AÑO	48	3.6*10 <sup>5</sup>		3.1*10 <sup>5</sup>		4.1*10 <sup>4</sup>	

\* Significativo al 5%; \*\* significativo al 1%

CUADRO 3. Correlación entre recuperación de N, P, bases intercambiables, eficiencia de absorción de N y de P.

-----CONTROL-----						
$R^2 / P >  R $						
	RN	RP	RB	RAIZ	EAN	EAP
RN	1.0 0.0	0.96 0.002	0.83 0.04	0.87 0.02	0.97 0.001	0.78 0.07
RP	.	1.0 0.0	0.87 0.03	0.89 0.01	0.91 0.01	0.71 0.10
RB	.	.	1.0 0.0	0.94 0.005	0.77 0.08	0.73 0.09
RAIZ	.	.	.	1.0 0.0	0.80 0.05	0.87 0.02
EAN	.	.	.	.	1.0 0.0	0.91 0.01
EAP	.	.	.	.	.	1.0 0.0
-----ENMIENDAS-----						
$R^2 / P >  R $						
	RN	RP	RB	RAIZ	EAN	EAP
RN	1.0 0.0	0.64 0.0007	0.85 0.0001	0.77 0.0001	0.93 0.0001	0.62 0.001
RP	.	1.0 0.0	0.71 0.0002	0.49 0.01	0.72 0.0001	0.70 0.0001
RB	.	.	1.0 0.0	0.73 0.0002	0.79 0.0001	0.62 0.0003
RAIZ	.	.	.	1.0 0.0	0.66 0.0004	0.62 0.001
EAN	.	.	.	.	1.0 0.0	0.57 0.05
EAP	.	.	.	.	.	1.0 0.0

## CUADRO 3. CONT...

-----CALLEJONES-----  
 $R^2 / P > |R|$

	RN	RP	RB	RAIZ	EAN	EAP
RN	1.0 0.0	0.93 0.0001	0.93 0.0001	0.67 0.02	0.83 0.0009	0.58 0.04
RP	.	1.0 0.0	0.60 0.12	0.59 0.04	0.79 0.002	0.74 0.006
RB	.	.	1.0 0.0	0.49 0.11	0.30 0.43	0.57 0.05
RAIZ	.	.	.	1.0 0.0	0.35 0.26	0.28 0.37
EAN	.	.	.	.	1.0 0.0	0.57 0.05
EAP	.	.	.	.	.	1.0 0.0

RN= Recuperación de N; RP=Recuperación de P; RB= Recuperación de bases intercambiables; RAIZ= Biomasa radicular (maíz+frijol); EAN= Efic. de absorción de N; EAP= Eficiencia de absorción de P.

Cuadro 4. Contenido de nutrimentos en el suelo. Análisis del mes de Noviembre, promedio de 9 años y dos niveles de N. 0-60 cm., La Montaña, Turrialba, Costa Rica.

TRATAMIENTOS	N mg/g	P ug/g	K cmol(+)/k	CA interc.	MG interc.
CONTROL	2.2	13.3	0.35	4.87	1.14
MULCH ERYTHRINA	2.2	13.3	0.58	5.04	1.22
ESTIERCOL	2.1	14.9	0.51	4.82	1.15
MULCH GMELINA	2.1	13.6	0.43	4.26	1.03
MULCH GLIRICIDIA	2.2	13.5	0.41	4.68	1.06
CALLEJ. ERYTHRINA	2.4	12.6	0.5	4.92	1.12
CALLEJ. GLIRICIDIA	2.1	12.6	0.47	4.91	1.18

Interacción tratamiento año signif.  $p < 0.01$

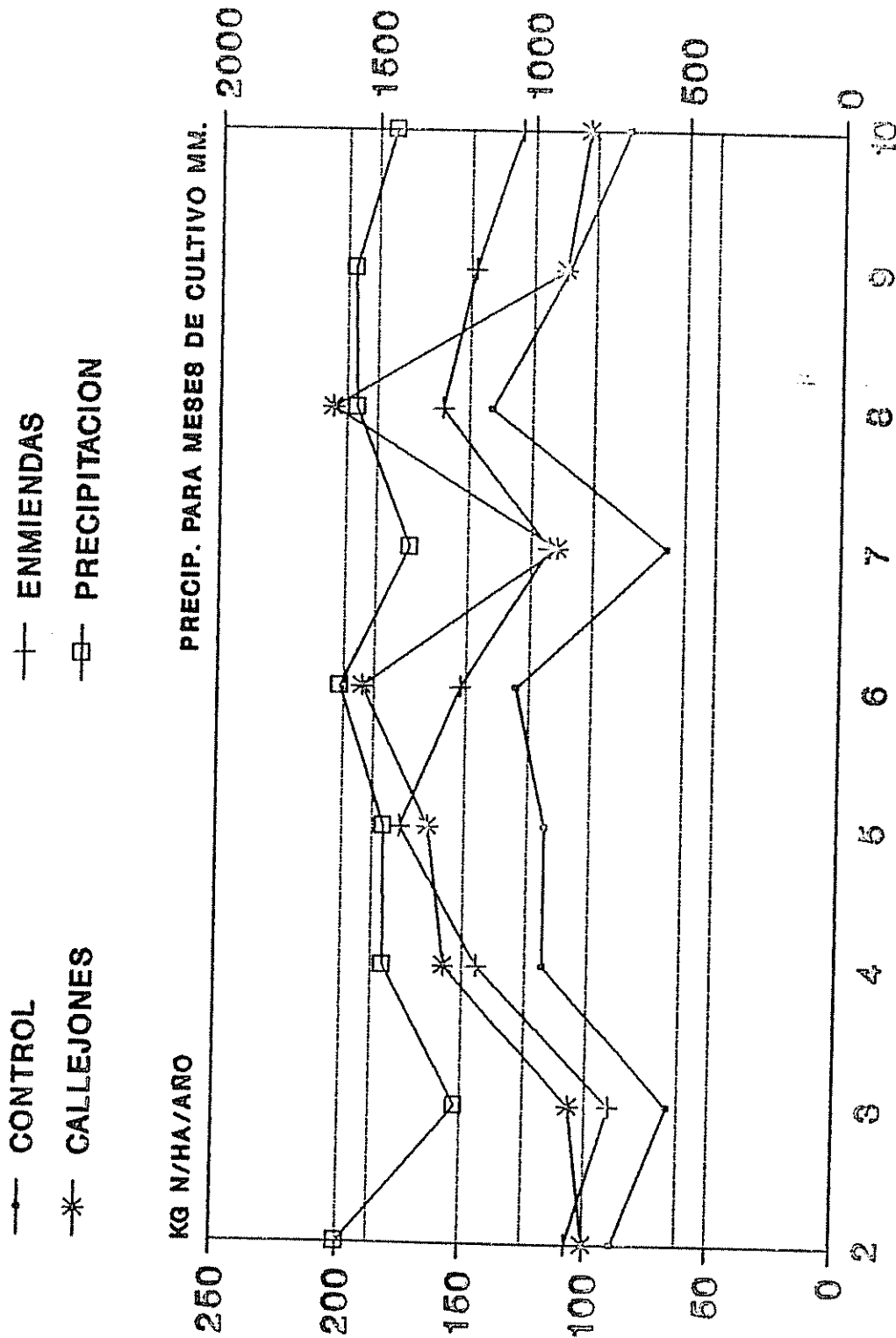


Fig. 1. Absorción de N en el tiempo, La Montaña, Tlba.



Interacción trat·año sig.  $p < 0.01$

—○— CONTROL    + ENMIENDAS    \* CALLEJONES

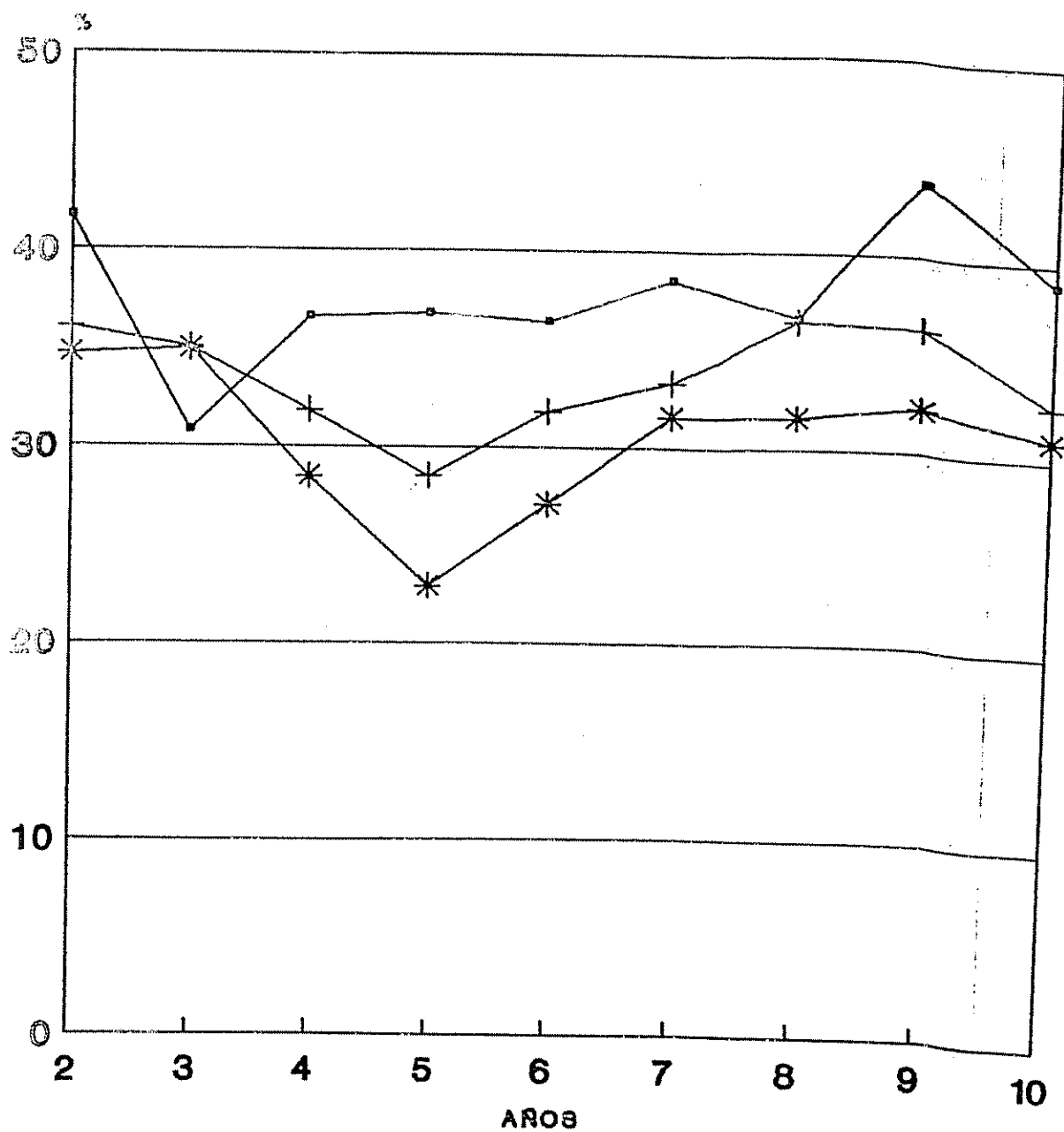


FIG. 2. Eficiencia fisiológica del N en maíz. La Montaña, Tiba.

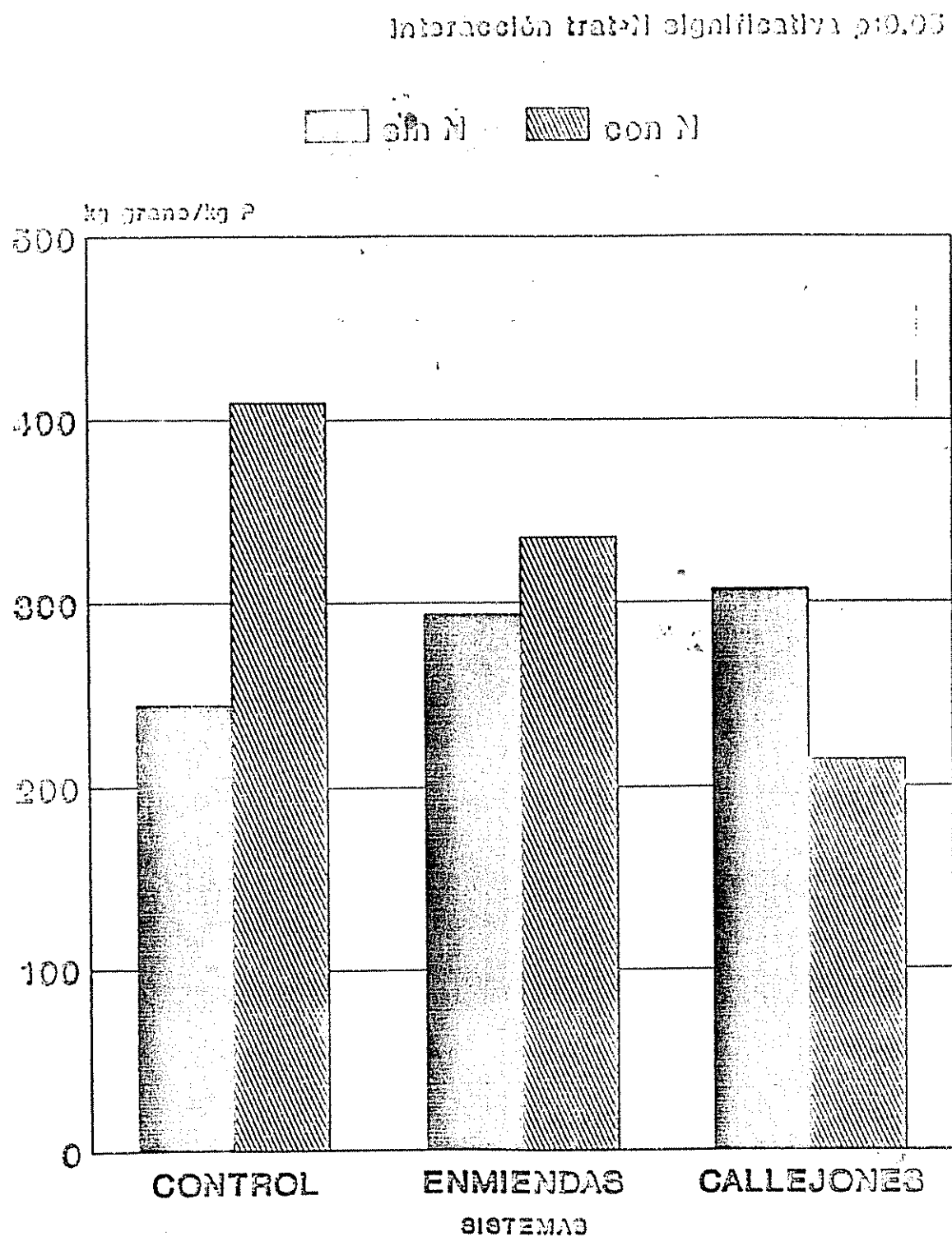


FIG. 3. Eficiencia fisiológica del fósforo  
La Montaña, Tlba.